ABB review

3 | 16
es

Ciento veinticinco años en Suiza 7
Cien años de investigación corporativa 13
Logros decisivos que cambiaron el mundo 16
Mirando hacia el futuro 55

La revista técnica corporativa

Dos aniversarios

125 YEARS SERVING THE WORLD FROM SWITZERLAND
www.abb.com

Power and productivity for a better world™

El año 2016 representa un aniversario doble para ABB. Por una parte, la empresa conmemora sus 125 años de presencia en Suiza. La empresa BBC, predecesora de ABB, se fundó en 1891. Por otro, este año se cumple el 100º aniversario del centro de investigación corporativa. En 1916 ASEA fundó su primer centro dedicado exclusivamente a la investigación en Västeras, Suecia.

La imagen de la portada muestra el estator de un generador de 22 MVA fabricado por ASEA para Glomfjord (Noruega) en 1919. La contraportada ilustra el estator de un generador de energía eólica moderno durante su fabricación en Lingang (Shanghái), China.

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

Ideas en acción

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

Un enlace directo

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

Transformación y cambio

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

Cuestiones relativas a la investigación

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

La energía en el punto de mira

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

Reflexiones sobre el futuro

Bazmi Husain

Estimado lector:
Se afirma que la única constante verdadera es el cambio. Una afirmación que tal vez donde mejor se cumple es en el ámbito de la tecnología.

Al intentar comprender y contextualizar la dinámica y las ramificaciones a largo plazo del cambio, la historia suele ser la mejor perspectiva para su estudio. La actual revolución digital se denomina a veces "Industria 4.0", en referencia a las tres revoluciones industriales previas, a saber: mecanización (finales del siglo XVIII), producción en masa (principios del siglo XX) y automatización basada en la electrónica (finales de la década de 1960). Cada una de estas revoluciones propició cambios esenciales, no solo para la propia industria, sino también para los sistemas económicos subyacentes, la sociedad e incluso el pensamiento. Para las personas dispuestas a secundarlas, las revoluciones son épocas de oportunidades que abren nuevos ámbitos de aplicación, muchos de los cuales no cabría imaginar con anterioridad.

ABB ha vivido los inicios de tres de las cuatro grandes revoluciones industriales y ha sobresalido como líder en todas ellas. Por ejemplo, en 1974 la empresa presentó el IRB-6, el primer robot controlado por microprocesador y totalmente eléctrico. Este hito permitió que se produjeran cambios de paradigma esenciales en distintos ámbitos de la fabricación, con enormes repercusiones para la seguridad y la productividad en el lugar de trabajo.

Este año, ABB conmemora un aniversario doble: hace ciento veinticinco años, en 1891, Charles Brown y Walther Boveri (las dos letras "B" del nombre de la compañía) fundaron una empresa que se convertiría en la predecesora de la actual ABB. No tardaron mucho en colocarse en una posición de liderazgo en la generación, el transporte y la transformación de la energía eléctrica. La electricidad no era ninguna novedad, pero los avances realizados en aquella época permitieron transportarla de manera económica, lo que representó enormes ventajas que afectaron tanto a la vida de las personas como a la capacidad industrial. La situación es comparable a la actual revolución digital. Ni los microprocesadores ni las comunicaciones inalámbricas son verdaderamente invenciones recientes, pero desatar su potencial exigió la combinación perfecta de viabilidad y pensamiento visionario.

El segundo aniversario importante de este año es el centenario de la investigación corporativa. En 1916, ASEA (la otra empresa predecesora de ABB, a la que representa la letra "A" del nombre) inauguró su primer centro dedicado en exclusiva a la investigación, en Västeras, Suecia. Entre los logros de este centro se incluyen los primeros diamantes sintéticos, así como algunas contribuciones innovadoras a la automatización y los sistemas de HVDC. Los centros de investigación encarnan la determinación de ABB de mantener su posición puntera mediante la excelencia en la investigación. En la actualidad, ABB tiene unos 8.500 empleados dedicados a actividades de I+D en todo el mundo.

Nuestra mirada al pasado de ABB es, al mismo tiempo, una mirada al futuro, a los retos y las soluciones que están por venir. Confío en que la lectura de este número de ABB Review le permita descubrir ejemplos inspiradores de ambas opciones.

Que disfrute de la lectura.

Bazmi Husain
Director de Tecnología y
Vicepresidente Senior del Grupo
Grupo ABB

125
YEARS SERVING
THE WORLD FROM
SWITZERLAND
www.abb.com

ABB

Ciento veinticinco años y un centenario

ABB celebra los ciento veinticinco años de existencia en Suiza y los cien años de investigación corporativa

DOMINIC SIEGRIST – El año 2016 es trascendental para ABB. No solo señala el nacimiento hace ciento veinticinco años de Brown Boveri & Cie. (BBC) en Suiza, sino que también marca el centenario de la organización de investigación corporativa de ASEA en Suecia. A lo largo de estos años, BBC y ASEA han realizado un asombroso progreso tecnológico, tanto de manera individual, como conjunta (desde 1988) con el nombre de ABB. Se celebrarán eventos en todo el mundo, y este número de la ABB Review así como otros posteriores describirán con detalle algunos de los avances más importantes. Merece la pena echar un vistazo a algunas de las noticias técnicas más destacadas de BBC en los últimos 125 años, así como a algunos de los logros técnicos de la organización de investigación sueca en la última década.

Imagen del título
El tamaño nunca ha sido un obstáculo para BBC y ASEA. En la imagen se muestra un generador de CA trifásica de 2 MW de BBC en una estructura de acero alemana, en 1912.

Power and productivity for a better worldTM" (Energía y productividad para un mundo mejor) es el lema corporativo de ABB. Incluso en sus comienzos, las principales empresas que constituían ABB se preocuparon de reflejar el espíritu expresado en esta máxima.

En 1883, Ludvig Fredholm fundó ASEA en Västerås, Suecia. Los primeros productos de ASEA, destinados a la iluminación eléctrica y los generadores, contribuyeron en gran medida a mejorar el mundo. De la misma manera, cuando Charles Brown y Walter Boveri crearon Brown Boveri & Cie. en Baden (Suiza), en 1891, sus productos eléctricos mejoraron de una forma significativa la vida de muchos millones de personas. Lo cierto es que al posibilitar el uso generalizado de un nuevo recurso, la electricidad, los productos desarrollados por estos dos progenitores de ABB realizaron una importante contribución al mayor cambio tecnológico experimentado nunca por la sociedad → 1.

Los avances tecnológicos de BBC se sucedieron con rapidez: en 1891 se construyó la primera central eléctrica en la ciudad de Baden; en 1895 se suministró el equipamiento eléctrico al sistema de tranvía de la ciudad suiza de Lugano → 2; en 1897 apareció el primero de numerosos interruptores en aceite de alta tensión → 3; y, en 1911, la empresa ya había desarrollado una locomotora eléctrica que marcó el comienzo de una nueva era en la electrificación ferroviaria. De hecho, las locomotoras formaron una parte importante del esfuerzo de investigación y desarrollo de BBC hasta finales del siglo XIX.

> En 1911, BBC ya había desarrollado una locomotora eléctrica que marcó el comienzo de una nueva era en la electrificación ferroviaria.

En 1905, BBC sugirió a SBB (el operador nacional de ferrocarriles de Suiza) que el túnel de Simplon, entonces en construcción, se debería electrificar. SBB declinó la propuesta y BBC se ofreció para realizar el trabajo haciéndose cargo del coste. Si bien el proyecto no se tradujo en

Los productos de ASEA y ABB facilitaron importantes mejoras en la vida de muchos millones de personas.

1 Walter Boveri, acompañado de su mujer (en el centro) y una conocida, inspeccionando la construcción del edificio de la primera fábrica, 1891

un éxito económico, representó el primer enlace ferroviario electrificado internacional del mundo, y la experiencia adquirida supuso un enorme impulso para BBC en el negocio de electrificación de ferrocarriles, tal como se reflejó en los numerosos contratos logrados en los años posteriores, incluido el gran encargo del túnel del Gotardo quince años más tarde ➔ 4.

Periodo de entreguerras

El periodo de 1918-1939 fue extremadamente turbulento. Tras la escasez de trabajadores y materias primas durante la Primera Guerra Mundial, BBC experimentó un breve auge hasta 1920, cuando se produjo prácticamente un colapso total de los pedidos durante algunos años. La posterior recuperación no duró mucho, dado que el desplome de Wall Street de 1929 causó mayores estragos. No obstante, la empresa se recuperó una vez más y, en 1939 se distribuyeron los primeros dividendos a los accionistas en siete años.

BBC: guerra y expansión entre 1939 y 1970

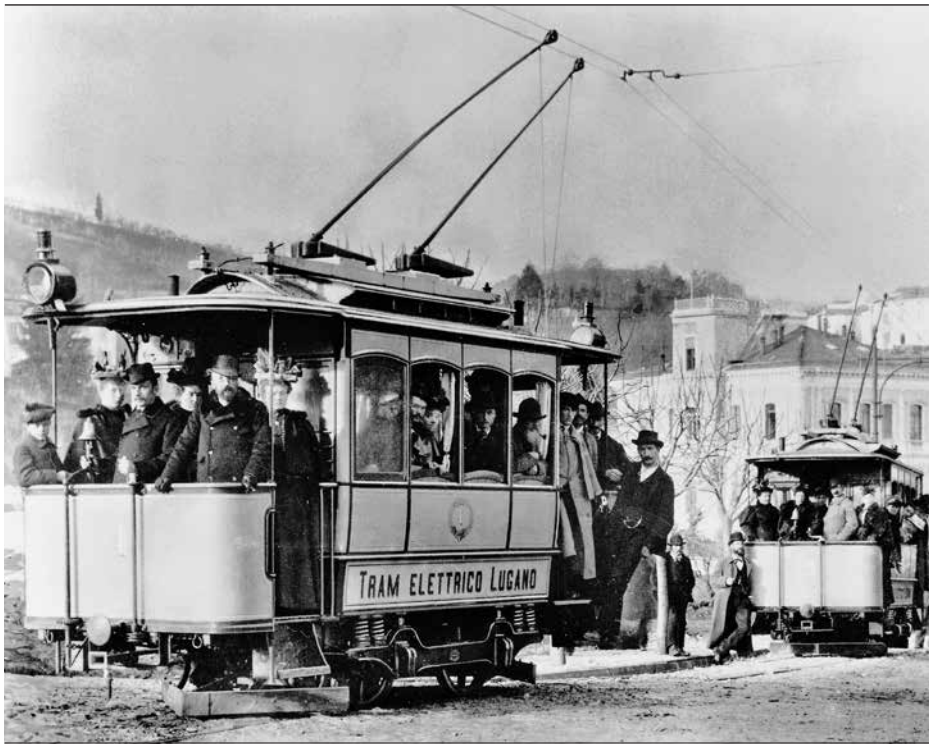
En 1936, BBC se convirtió en un participante tardío en el mercado radiofónico, pero logró establecerse con rapidez con su primera válvula transmisora, que presentó en 1939. La producción de válvulas se trasladó del laboratorio a una fábrica especialmente construida en 1943. La tecnología de válvulas se expandió gradualmente, pasando de la transmisión por radio a la generación de calor para aplicaciones industriales y de radioterapia. Esta tecnología culminaría en el desarrollo de un acelerador clínico de electrones (Betatron) a finales de la década.

En 1939, BBC construyó la primera turbina de gas del mundo, que se utilizó en la ciudad de Neuenburg como generador de emergencia hasta una fecha tan reciente como 2002. Actualmente, adorna el pabellón de las instalaciones de ALSTOM en Birr, Suiza, como un orgulloso recordatorio de la historia de BBC.

El estallido de la Segunda Guerra Mundial supuso para la empresa otro periodo turbulento. De nuevo se produjo una escasez de trabajadores debido al reclutamiento militar, incluso con un aumento de los pedidos. La empresa se encontraba en una situación delicada, suministrando productos tanto a los aliados como al Tercer Reich. No obstante, los pedidos de particulares aumentaron hasta alcanzar niveles récord (un 40% de todos los pedidos se suministró a clientes suizos en 1942–1943), especialmente de productos de generación de electricidad. Por otra parte, España, con la reconstrucción tras la guerra civil, se convirtió en uno de los mayores clientes de BBC. En plena Segunda Guerra Mundial, la empresa pudo dedicar los recursos y el tiempo necesarios para construir el laboratorio de alta tensión en Baden, unas instalaciones que demostraron ser de un valor incalculable en años posteriores.

En 1935, el centro de BBC de Mannheim (Alemania) había crecido hasta dominar el lugar original en Baden. La empresa prosperó con los pedidos de material de guerra: motores de submarinos, turbinas de buques de guerra, compresores de

2 BBC suministró muchos de los equipos eléctricos para el sistema de tranvía eléctrico de Lugano a finales del siglo XIX



La electrificación del Simplon representó el primer enlace ferroviario electrificado internacional del mundo, y la experiencia adquirida supuso un enorme impulso para BBC en el negocio de electrificación de ferrocarriles.

motores a reacción, etc. Sin embargo, en 1944, los daños causados por bombas pesadas moderaron la actividad, si bien la empresa floreció de nuevo en los diez años posteriores a la guerra.

A finales de la Segunda Guerra Mundial, los pedidos superaban la capacidad de la empresa y, cuando finalizó la contienda en 1945, la posición empresarial era favorable, con una expansión en la mayoría de los departamentos. A mediados de la década de 1950 se produjo el auge de las turbinas de vapor, con unos sistemas de potencia sin precedentes y pedidos masivos de clientes como el de Tennessee Valley Authority, que encargó un turbogenerador BBC de 1.300 MW en 1967. En los turbocompresores se apreció un crecimiento similar, tanto en volumen de negocio como en capacidad técnica.

En 1953 se inauguró un laboratorio especializado de BBC dedicado a la investigación de la aerodinámica y la combustión. En 1965, BBC desarrolló el primer hidrogenerador refrigerado por agua del mundo. En el ámbito doméstico, BBC fabricaba cocinas, lavadoras, humidificadores y calentadores de cama. Esta rama de la empresa se vendería a AEG en 1972 (si bien BBC continuaría fabricando máquinas de café hasta la década de 1980).

Al igual que la historia de BBC, la de ASEA también está repleta de avances técnicos. En este sentido, en el centenario del aniversario de la fundación de la rama de investigación corporativa de ASEA, merece la pena destacar algunos de los productos cruciales que la organización ha fabricado en las últimas décadas.

Motor de progreso

A finales de 1960, el ritmo y la magnitud del progreso tecnológico, tanto de ASEA como de BBC, habían aumentado significativamente y los avances en la electrónica abrían vías completamente nuevas para abordar problemas industriales. Un ejemplo temprano de las ventajas de la electrónica fue el accionamiento de velocidad variable (VSD) digital.

Los motores eléctricos están omnipresentes en la industria. De hecho, aproximadamente dos tercios de toda la energía eléctrica generada en el mundo se convierte en energía mecánica gracias a los motores eléctricos. La gran mayoría de estos motores se utilizan en ventiladores, bombas y compresores eléctricos. Una gran parte de estas aplicaciones funcionan a velocidad constante, continuamente, incluso cuando no se necesita, utilizando reguladores o válvulas que controlan el caudal de fluidos o gases, lo que supone un enorme desperdicio de electricidad.

Y entra en escena el variador digital de velocidad. Presentado en 1969 y equipado con una tecnología revolucionaria denominada “control directo del par” (DTC), el VSD digital adapta la velocidad y el par de un motor en función de las necesidades específicas de la aplicación. Por lo general se ahorra un 50% de electricidad y se mejora la calidad del control.

En 2011, ABB dio otro paso significativo en tecnología de motores con su motor síncrono de reluctancia (SynRM).

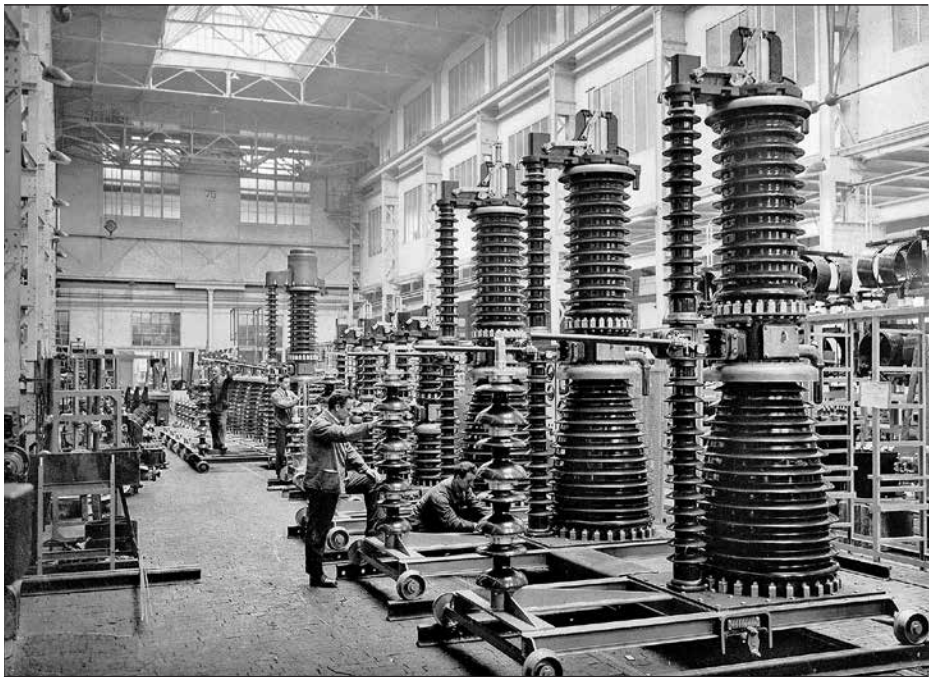
SynRM

Los motores de inducción (IM) son, con diferencia, los más habituales en la industria. Este motor potente y eficiente no dispone de conmutador ni de escobillas, por lo que resulta fiable y de fácil mantenimiento. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes que se pueden superar con el motor de CA de imanes permanentes (PM).

En la década de 1980, los motores PM se convirtieron en competidores de los IM, con la creación de una nueva generación de imanes permanentes basados en elementos de tierras raras (REE), como neodimio, hierro y boro (NdFeB). (Se debe tener en cuenta que este tipo de motores necesitan accionadores de

En 1967, la Tennessee Valley Authority recibió un turbogenerador BBC con una potencia récord de 1.300 MW.

3 Fabricación de interruptor de alta tensión en 1935



CA complejos, otro ámbito de innovación de ABB). El motor PM es síncrono, es decir, el rotor gira en sincronía con el campo magnético. Este mecanismo ofrece un control de velocidad más preciso, mayor eficiencia, menor temperatura del rotor/cojinete y otra serie de ventajas.

Por supuesto, existe un problema: los REE son caros y su precio puede variar. Además, el intenso campo magnético del rotor puede dificultar el mantenimiento.

Recientemente, ABB ha presentado dos motores sin REE: el SynRm → 5 y el motor síncrono de reluctancia de imanes permanentes (SynRM2, presentado en 2014), que utiliza imanes de ferrita.

Los SynRM funcionan mejor que los IM convencionales. Se pueden diseñar para un rendimiento elevado o para una densidad de potencia elevada con un tamaño menor al de un IM equivalente. Requieren menos mantenimiento, tienen una inercia reducida y son extremadamente fiables.

Arranques suaves

Uno de los inconvenientes de los IM mencionados anteriormente es un problema de arranque. El método de arranque más habitual es el arranque directo en línea (DOL), utilizando un contactor principal y un relé térmico de sobrecarga. Lamentablemente, se produce una corriente de arranque que puede ser entre seis y siete veces mayor que la corriente nominal.

Hace algo más de treinta años que ABB presentó el arranque suave. Un arrancador suave reduce el par del motor eléctrico al arrancar. De esta manera, se reducen las caídas de tensión en las redes, se minimizan las corrientes de arranque, se eliminan los picos de corriente y se facilita la optimización del cableado.

En los últimos años, ABB ha perfeccionado el concepto de arranque suave con el lanzamiento constante de nuevos modelos. En 2010 se presentó el exitoso modelo PSE; en 2014 el PSTX ofreció nuevas funciones de comunicación y una nueva interfaz de operario que facilita información de diagnóstico.

Un ejemplo temprano de las ventajas de la electrónica fue el accionamiento de velocidad variable digital

El enfoque directo

Aproximadamente en la época de la creación de ASEA y BBC se libraba la “guerra de las corrientes”, en la que se enfrentaban la tecnología establecida de corriente continua (CC) de Edison y el nuevo enfoque de corriente alterna (CA)

4 Una novedad en 1919: una locomotora eléctrica para la línea del túnel del Gotardo en una prueba de conducción en Thun, Suiza

que defendían, entre otras, Westinghouse (posteriormente parte de ABB). Inicialmente, la CC, por ser más eficiente de transmitir y más fácil de manejar, fue el método estándar de distribución de electricidad de media tensión (MT). Sin embargo, la tecnología de CA no tardó en adquirir preponderancia.

Los recientes avances técnicos, especialmente en la tecnología de semiconductores, han permitido que la CC entre de nuevo en escena. Este factor, unido a la necesidad de desplazar grandes cantidades de energía eléctrica en todo el mundo, supuso un importante estímulo para que ABB presentase la tecnología de CC de alta tensión (HVDC), la tecnología clave que se utiliza en la conexión en serie de paquetes prensados de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT).

La alimentación necesaria para controlar un IGBT es muy baja y se puede obtener de un circuito amortiguador conectado en paralelo con el IGBT. Por lo tanto, no se necesita ninguna alimentación auxiliar en el nivel de suelo. Por otra parte, la unidad de puerta del dispositivo puede apagar y encender con gran precisión el IGBT, por lo que es posible conectar los IGBT en serie y controlar centenares de IGBT individualmente en una fracción de microsegundo.

Esta tecnología fue la base de HVDC Light, presentada en mayo de 1997, basada en convertidores de dos niveles que funcionaban a +/– 80 kV. Diecinueve años después de los primeros pasos inciertos, HVDC Light de ABB es un negocio de 1.000 millones de dólares, con 25 instalaciones HVDC Light en todo el mundo que transfieren más de 10 GW.

Transformadores

ABB ha sido uno de los líderes en tecnología de transformadores durante muchas décadas. Los avances más recientes se encuentran en el ámbito de la ultra-HVDC, con transformadores de potencia nominal de hasta 1.100 kV

Es frecuente que un transformador deba disponer de un cambiador de tomas, que representa otro ámbito pionero para ABB en el que la empresa ha conseguido un progreso constante con el paso del tiempo. Los últimos cambiadores de tomas en vacío de ABB reducen los requisitos de mantenimiento y mejoran el rendimiento, garantizando que la formación de arcos eléctricos que se producía anteriormente en el aceite aislante se realice en un interruptor de vacío, por lo que se evita la formación de arcos que contaminen el aceite.

Cables de HVDC

La electricidad de HVDC no solo se transporta a través de líneas aéreas, sino también por medio de cables, por ejemplo, para transportarla desde parques eólicos en alta mar o para unir redes nacionales a través del mar. La longitud práctica de los cables de CA está limitada por los efectos capacitivos, por lo que el futuro del transporte de electricidad a larga distancia reside en la tecnología de HVDC.

Un ejemplo temprano de las ventajas de la electrónica fue el accionamiento de velocidad variable digital

En los últimos treinta años, ABB ha realizado un importante progreso técnico en los cables de HVDC, por ejemplo, con un sistema de cable extruido de 525 kV, presentado en 2014, que se basa en polietileno reticulado (XLPE) de gran calidad. ABB ha desarrollado también una estructura de cable dinámica para HVDC, que resulta particularmente útil en las plataformas marinas.

Interruptores híbridos

Los sistemas HVDC se deben desconectar si se produce una avería. Las instalaciones HVDC actuales son principalmente de punto a punto y se pueden desconectar mediante interruptores de CA en cada extremo, si bien significa que se interrumpe toda la línea. Una vez que las redes HVDC se generalicen, una avería podría provocar la caída de toda la red. Una complicación adicional es que la desconexión debe ocurrir con una rapidez mucho mayor en un sistema HVDC que en un sistema AC comparable.

Un ejemplo temprano de las ventajas de la electrónica fue el accionamiento de velocidad variable digital.

Estos factores supusieron una motivación para que ABB desarrollase su interruptor híbrido. Una vez más, se explotaron las ventajas de los semiconductores de electricidad: el interruptor híbrido de ABB consiste en un interruptor principal compuesto de interruptores electrónicos de potencia y descargadores de sobretensión, además de una rama paralela

La tecnología HVDC clave desarrollada por ABB fue la conexión en serie de paquetes prensados de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT).

5 El exclusivo rotor SynRM

que contiene un seccionador ultrarrápido (UFD) y un interruptor de conmutación de cargas electrónicas de potencia. Este "híbrido" permite una desconexión rápida adecuada para las aplicaciones HVDC.

Automatización

La potencia es uno de los pilares de la tecnología de ABB, y la automatización es el otro. No resulta exagerado afirmar que los avances realizados por ABB han modificado el panorama de la automatización industrial. La empresa no solo ha realizado innovaciones en los sistemas de control digital (DCSS) y automatización de plantas, sino que ASEA fue responsable del primer robot industrial eléctrico del mundo presentado en 1973, que fue un éxito comercial.

Los anteriores intentos en robótica realizados por otras empresas en las décadas de 1950 y 1960 dieron lugar a enormes máquinas torpes, ruidosas e hidráulicas, con grandes fugas de aceite. A principios de la década de 1970, ASEA se dio cuenta del potencial de los robots de accionamiento eléctrico, por lo que desarrolló y comercializó el primer robot del mundo: el IRB 6 (Industrial RoBot/ 6 kg de carga útil). Tan pronto como apareció en el mercado, el IRB 6 fue un éxito. El primer pedido lo cursó una pequeña empresa sueca, y cuatro de los cinco robots suministrados siguen funcionando en el mismo lugar y realizando el mismo trabajo después de más de cuarenta años: un testimonio del excelente diseño.

Después del IRB 6 se han desarrollado nuevas generaciones de robots de ABB para tareas de automatización en numerosos sectores.

Innovación continua en todo el mundo

La tecnología de energía y automatización de ABB se ha inspirado en los retos presentes en todas las esferas posibles: en hogares y oficinas, en campos de petróleo y gas situados en desiertos remotos, en plantas de tratamiento de agua, en minas subterráneas, en las profundidades marinas (con transformadores que funcionan a una profundidad de 3.000 m, por ejemplo),en ciudades densamente pobladas, en campos y plantas de fabricación y procesamiento que han sufrido un cambio irreconocible en los últimos años. La tecnología de ABB incluso gira alrededor del planeta en un satélite.

Un problema nuevo y desafiante que no podrían haber previsto Brown, Boveri ni Fredholm es el cambio climático. La energía intelectual que actualmente se dedica a mitigar los efectos antropogénicos sobre el clima ha creado nuevas áreas de innovación para ABB.

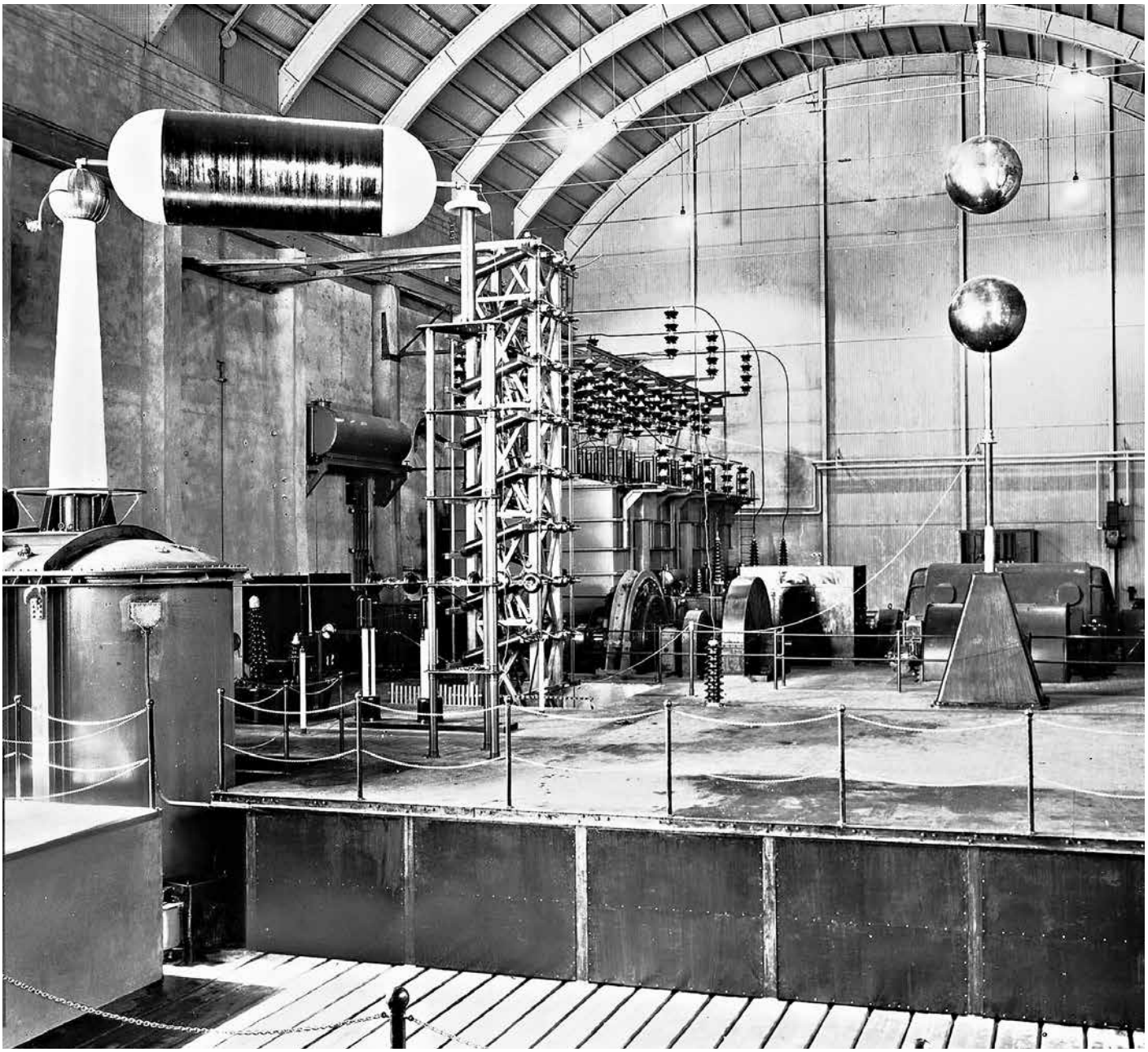
La energía renovable es una de estas áreas. La generación de energía eólica, solar, por biomasa y de otro tipo ha supuesto para ABB el reto de encontrar soluciones de energía y automatización.

Además de los generadores, la generación de energía renovable distribuida y sus tecnologías correspondientes (microrredes, almacenamiento de energía, equilibrio de cargas, acondicionamiento de potencia, marketing, programación, etc.), existen otras áreas en las que se han apreciado los efectos de la innovación de ABB.

Desde la fusión de ASEA y BBC en 1988 para formar ABB, la empresa ha mantenido el liderazgo tecnológico y de mercado en numerosas áreas mediante la innovación continua en energía y automatización. Muchas de las ventajas de la vida moderna han sido posible gracias al esfuerzo de los investigadores de ABB en los últimos ciento veinticinco años.

125
YEARS SERVING
THE WORLD FROM
SWITZERLAND
www.abb.com

Dominic Siegrist
ABB Process Automation, Industry Solutions
Zúrich, Suiza
dominic.siegrist@ch.abb.com



Brainforce one

El primer Centro de Investigación Corporativa de ABB cumple cien años

ANDERS JOHNSON – La necesidad es la madre de la invención, según se dice. En la Primera Guerra Mundial, ASEA (empresa sueca predecesora de ABB) se encontró en una situación en la que no tenía acceso a los proveedores de sus materiales. La empresa se vio obligada a reflexionar a fondo y actuar con rapidez para encontrar maneras alternativas de hacer frente a las necesidades de los clientes. Lo llevó a cabo en 1916 con el establecimiento del Laboratorio Central (como se denominaba en la época) en Västerås, Suecia. Se había creado una institución que no solo sobreviviría a la crisis de la que había surgido, sino que se adaptaría con éxito a los nuevos desafíos y paradigmas cambiantes en los siguientes cien años. Entre sus logros se incluyen los primeros diamantes sintéticos del mundo (1950), el primer robot industrial eléctrico (1970) y una serie de destacadas innovaciones que establecerían el carácter pionero y el liderazgo en HVDC de ASEA y, posteriormente, de ABB. En la actualidad, el centro trabaja en varios proyectos importantes de tecnologías de energía y automatización para aumentar la sostenibilidad.

1a Comenzando en 1949, ASEA lanzó un proyecto de máximo secreto para la creación de diamantes sintéticos. El primer éxito se logró en 1953 cuando se mantuvo una presión de 8,4 GPa durante una hora y se consiguieron los primeros diamantes. El proyecto se mantuvo tan secreto que los resultados no se publicaron hasta la década de 1980

1b Primeros diamantes sintéticos del centro de investigación ASEA

La tarea inicial del centro era la investigación de materiales con el fin de encontrar materiales alternativos, ante la imposibilidad de acceder a los proveedores establecidos y la interrupción de los suministros durante la Primera Guerra Mundial. La guerra finalizó, pero se mantuvo la necesidad de seguir investigando.

En el periodo de entreguerras, el Laboratorio Central asumió un papel principalmente de apoyo de las unidades de fabricación de ASEA. En el laboratorio se solían abordar los problemas que se planteaban de una manera recurrente en diversas divisiones de la empresa, como los relativos a la resistencia y la corrosión de los materiales. No obstante, en el laboratorio también se realizaban estudios cualificados de investigación y desarrollo, por ejemplo, sobre aislamiento eléctrico y hornos de alta frecuencia.

Durante la Segunda Guerra Mundial aumentó de forma notable. Ante la nueva interrupción de los canales de suministro y la escasez de materiales, el centro retomó el desarrollo y el ensayo de materiales de sustitución.

En la década de 1950 → 1, ASEA comenzó a desarrollar “una nueva ciudad de la ciencia” en Västerås. En el barrio de Tegner se construyeron varios edificios de laboratorios modernos. A principios de la década de 1960, la totalidad del Laboratorio Central se hallaba en Tegner, y

Entre los logros se incluyen los primeros diamantes sintéticos del mundo (1950), el primer robot industrial eléctrico (1970) y una serie de destacadas innovaciones que establecerían el carácter pionero y el liderazgo en HVDC de ASEA y, posteriormente, de ABB.

Imagen del título
Laboratorio de pruebas de cortocircuitos de ASEA en Ludvika, Suecia (edificado en 1930–1933). El verificador de cortocircuitos que se muestra al fondo podía desarrollar una potencia de cortocircuito de un millón de kVA.

2 Válvula tiristor HVDC de principios de los 80 para el proyecto Inga-Shaba “intertie” en Zaire (actual República Democrática del Congo)

3 El IRB-6 de ASEA fue presentado en 1974. Tenía 5 ejes y una carga útil de 6 kg. Muchos de los 1.900 ejemplares construidos se siguen usando hoy.

En 1980, el centro fue fundamental en el desarrollo de sensores de fibra óptica para medir la temperatura en el interior de los transformadores

todavía hoy el Centro de Investigación Corporativa utiliza estas instalaciones.

En la década de 1960, el Laboratorio Central se dedicaba a tres tareas principales: en primer lugar, el control de materiales. En segundo lugar, el mantenimiento de talleres y la consultoría, que incluían los nuevos métodos de fabricación, el control de procesos de ingeniería y la solución de problemas. En tercer lugar, la investigación y el desarrollo, que incluían los problemas relacionados con los materiales, la fabricación, y las estructuras y sistemas de maquinaria y dispositivos → 2.

A mediados de la década de 1960, el laboratorio participaba en 70 importantes proyectos de investigación. El más importante estaba relacionado con el desarrollo de pilas de combustible para submarinos. El proyecto resultó ser demasiado adelantado para la época y se dejó aparcado. En la década de 1970 el interés se centró en los robots industriales → 3, así como en el control digital de la velocidad de la maquinaria de papel y los trenes de laminado. En 1980, el centro fue fundamental en el desarrollo de sensores de fibra óptica para medir la temperatura en el interior de los transformadores.

En 1988, ASEA y Brown Boveri se fusionaron para formar ABB. Uno de los proyectos de desarrollo de mayor éxito en la década de 1990 fue HVDC Light, cuya primera instalación comercial se suministró a Gotland 1999.

Entre las innovaciones de la década de 2000 con la importante participación del centro de Investigación Corporativa se encuentran:

- 2008: lanzamiento de innovadores cambiadores de tomas en vacío para transformadores.
- 2010: transformador de corriente continua de ultra alta tensión (UHV-DC) de 800 kV.
- 2011: ABB hace una demostración del revolucionario motor síncrono de reluctancia (SynRM).
- 2012: ABB anuncia el primer interruptor automático del mundo para corriente continua de alta tensión.
- 2014: ABB establece un récord mundial con su nuevo cable HVDC de 525 kV.
- 2014: realización de un proyecto integral en la mina de Garpenberg, convirtiéndola en la mina más eficiente del mundo.
- 2015: lanzamiento del robot industrial de dos brazos YuMi.

En los siguientes artículos se analizan con mayor detalle áreas y logros de tecnologías específicas del Centro de Investigación. Las celebraciones de 2016 se refieren tanto al futuro como al pasado. Tal como proclama el lema del centenario del centro: “lo mejor está por llegar”.

Anders Johnson
Escritor sobre cuestiones históricas
Estocolmo, Suecia

Las consultas relativas a este artículo se pueden dirigir a
erik.persson@se.abb.com
Erik Persson

Ideas en acción

Los motores eléctricos representan un ámbito en el que abundan las innovaciones de ABB

La tecnología de los motores eléctricos se presentó hace bastante más de un siglo, y ABB fue uno de los pioneros principales. En este sector, la innovación ha irrumpido en escena en repetidas ocasiones, una tendencia que no solo continúa hoy día sino que se ha intensificado en los últimos cinco años. Accionamientos de velocidad variable (VSD), control directo del par (DTC), arrancadores suaves y tipos de motores completamente nuevos que encierran cantidades de energía sin precedente en un volumen reducido son sólo algunos de los avances que ABB ha aportado a esta área tecnológica.

En 2012, bombas, ventiladores y compresores representaban el 79 por ciento del mercado mundial de motores de baja tensión (BT) por ingresos [1]. Los motores de BT dominan asimismo la conversión de energía: del 28 al 30 por ciento de toda la energía eléctrica disponible se convierte en energía mecánica en los motores de BT, por lo que se presta especial atención a su eficiencia y todas las mayores regiones industrializadas disponen de normas de mínimo rendimiento para ellos. La enorme cantidad de energía consumida por estos aparatos en todo el mundo explica por qué la conversión de energía eléctrica en movimiento de un motor eléctrico representa un área de innovación tan fértil.

Referencias

[1] M. Meza, "Industrial LV Motors and Drives: A Global Market Update - January 2014, IHS," [Motores y accionamientos industriales de BT: Una actualización del mercado global – Enero de 2014, IHS] presentado en Motor and Drive Systems 2014 – Advancements in Motion Control and Power Electronic Technology, Orlando, FL, 2014.

Imagen del título

La eficiencia y la densidad de potencia entregadas por los nuevos SynRM y SynRM2 de ABB representan un avance significativo en la tecnología de los motores eléctricos. SynRM es sólo un área de innovación de ABB en motores eléctricos y su control.

Ideas en acción

Accionamientos digitales de velocidad variable

SJOERD BOSGA, HECTOR ZELAYA DE LA PARRA – Los motores de CA han sido las bestias de carga de la industria a lo largo de bastante más de un siglo y son, de largo, los motores eléctricos más comunes actualmente en la industria. No obstante, en el pasado, los motores de CA no se podían controlar tan fácilmente como las máquinas de CC, en las que el par motor es proporcional a la intensidad en el inducido, lo que facilita su control. Por lo tanto, la evolución de la tecnología VSD de CA se debe, en parte, al deseo de emular las características del accionamiento de CC (entre otras, una rápida respuesta de par y precisión de velocidad), sirviéndose a la vez de las ventajas que ofrece el motor de CA estándar.

La función básica de un VSD es controlar el par o la velocidad de un eje de motor eléctrico. Los motores de CC se pueden usar como VSD por su funcionamiento fácil (no necesitan una complicada electrónica de control) y porque pueden conseguir sin esfuerzo la velocidad y el par requeridos. Sin embargo, la llegada hace unas pocas décadas de la electrónica de potencia hizo posible una tecnología VSD de CA efectiva y permitió emular el excelente comportamiento del motor de CC al tiempo que se utilizaban los motores de CA, robustos, baratos y exentos de la necesidad de mantenimiento.

Enfoques tradicionales en relación con la tecnología VSD

El control de frecuencia del accionamiento de CA utiliza referencias de tensión y frecuencia suministradas a un modulador que simula una onda sinusoidal de CA y la alimenta a los devanados del estator del motor. Esta técnica recibe el nombre de modulación de ancho de impulso (PWM) y utiliza el hecho de que hay un rectificador de diodos hacia la red y la tensión de CC intermedia se mantiene constante. Un inversor controla el motor bajo la forma de un tren de impulsos PWM que fijan la tensión y la frecuencia ➔ 1. Cabe destacar que este método no precisa un dispositivo de realimentación que lleve la medida de la velocidad o la posición desde el eje del motor al bucle de control. Tal disposición, sin necesidad de un dispositivo de realimentación, se llama accionamiento de bucle abierto. Este método es de bajo coste, sencillo y adecuado para aplicaciones que no precisan elevados niveles de precisión o exactitud, como bombas y ventiladores.

> La llegada hace unas pocas décadas de la electrónica de potencia hizo posible una tecnología VSD de CA efectiva.

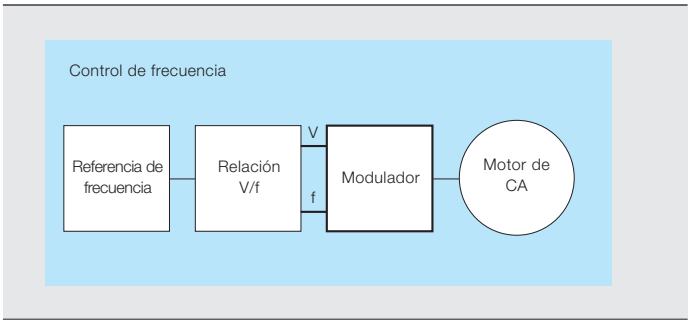
Otro método usual, con mejor comportamiento, se denomina control vectorial de flujo con empleo de PWM. Sin embargo, este método es más costoso y precisa una señal de realimentación.

DTC

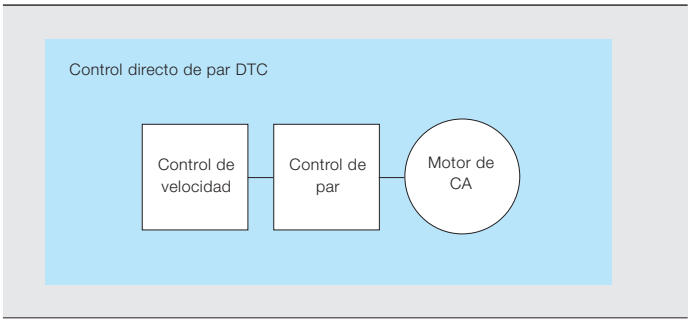
La revolucionaria tecnología DTC de ABB presenta muchas ventajas en comparación con los métodos tradicionales de control de motores. Por ejemplo, la orientación del campo se consigue sin necesidad de realimentación (utilizando teoría avanzada de motores para calcular directamente el par motor) y sin emplear modulación. Las variables de control en DTC son flujo magnetizante y par del motor.

Además, con el DTC no existe modulador y no hay necesidad de un tacómetro o codificador de posición para realimentar la velocidad o la posición del eje motor ➔ 2. DTC emplea el hardware de procesamiento de señal digital más rápido disponible y un conocimiento matemático avanzado de cómo funciona un motor. El resultado es un accionamiento con una respuesta de par que suele ser diez veces más rápida que la de cualquier otro accionamiento de CA o CC ➔ 3–4. La precisión dinámica de la velocidad de un accionamiento DTC es ocho veces mejor que cualquier otro de CA de bucle abierto, y comparable con uno de CC que utilice realimentación. DTC hace posible el primer accionamiento “universal” con la capacidad de actuación de uno de CA o de CC.

1 Bucle de control de un accionamiento de CA con control de frecuencia que utiliza PWM

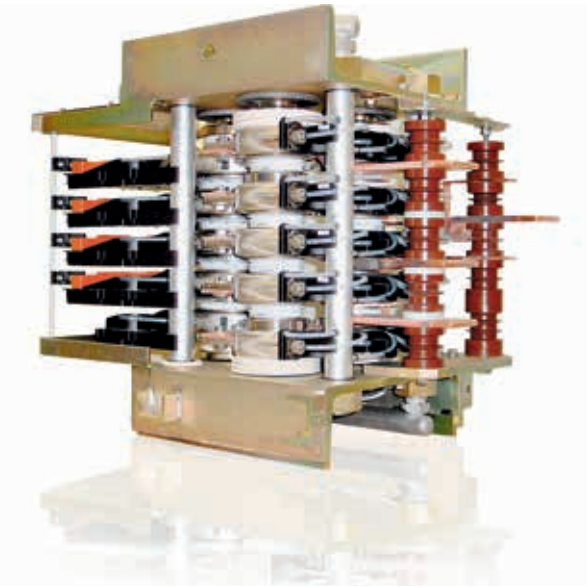


2 Bucle de control de un accionamiento de CA que utiliza DTC



3 Controlador de accionamientos ACS550 de ABB.

4 Un componente de electrónica de potencia de 9 MVA de ABB.



La revolucionaria tecnología DTC de ABB presenta muchas ventajas en comparación con los métodos tradicionales de control de motores.

DTC contribuye en gran medida al ahorro de energía, la respuesta de par, la linealidad y capacidad de repetición, la precisión de la velocidad del motor y la reducción armónica.

Los VSD de ABB

El accionamiento de frecuencia PWM lo desarrolló por primera vez Strömberg en Finlandia, a principios de la década de 1960. SAMI fue el nombre de marca de Strömberg para accionamientos de frecuencia variable, pero este nombre de marca desapareció cuando ASEA compró Strömberg en 1987. A lo largo de décadas, sucesivas generaciones de electrónica de potencia mejorada han desembocado en nuevas familias de VSD de ABB y en una expansión de las áreas de aplicación de VSD. En los accionamientos de media tensión, la tendencia se dirige hacia una huella reducida, una mayor fiabilidad y redundancia, y una mejor eficiencia energética. Con la contribución de ABB a este campo [el uso de IGCT (tiristores conmutados de puerta integrada) y de DTC, por ejemplo] no es de extrañar que ABB sea uno de los mayores proveedores de VSD a la industria mundial.

Sjoerd Bosga
Hector Zelaya De La Parra
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
sjoerd.bosga@se.abb.com
hector.zelaya@se.abb.com

Ideas en acción

Arrancadores suaves

HECTOR ZELAYA DE LA PARRA, MARIA WIDMAN, SÖREN KLING, GUNNAR JOHANSSON –
Los motores de inducción de CA son los más corrientes en la industria. Lo más frecuente es que se pongan en marcha empleando un contactor principal y un relé de sobrecarga térmica (el llamado arranque directo en línea). Sin embargo, este procedimiento provoca una corriente de arranque que puede ser un múltiplo de la corriente nominal. Esta corriente de irrupción puede ocasionar caídas de tensión que influyan en otras cargas. Asimismo, durante la puesta en marcha pueden presentarse esfuerzos mecánicos extremos que provoquen daños. Los arrancadores suaves proporcionan un método alternativo de puesta en marcha que evita estas corrientes de irrupción y las sobrecargas mecánicas. ABB ha presentado en el mercado con éxito una amplia gama de arrancadores suaves.

Un arrancador suave es un dispositivo, basado en electrónica de potencia, que controla la entrada de tensión a un motor que se pone en marcha y que de ese modo reduce el par y la corriente inicial, que pueden tener valores varias veces mayores que los nominales → 5.

En el centro de un arrancador suave se hallan los tiristores. Estos semiconductores bipolares (ideados en la década de 1950) pueden encontrarse ahora para valores nominales de tensión e intensidad muy elevados. Los tiristores de un arrancador suave se conectan uno tras otro en cada línea de entrada de tensión al motor y ajustando su ángulo de disparo para controlar la tensión de arranque. Gradualmente, se varía el ángulo de disparo para que aumenten la tensión y el par, y se acelere el motor.

Una de las ventajas de utilizar un arrancador suave es que se puede fijar el par con el valor requerido exacto: esta característica del control de par es un importante elemento diferenciador respecto a la competencia.

Otra característica importante del arrancador suave es su función de parada suave. Esta característica es muy importante para detener las bombas en los sistemas de agua propensos a mostrar golpe de ariete cuando se realiza una parada directa empleando un arranque estrella-triángulo o un arranque directo en línea. La función de parada suave puede utilizarse también para evitar cualquier daño material que pudiera producirse al detener bruscamente una cinta transportadora.

Arrancadores suaves de ABB

Tras muchos trabajos pioneros realizados por Fair-ford Electronics en Inglaterra (y también por otras empresas) durante la década de 1970, la compañía se convirtió en una de las primeras en diseñar y fabricar un controlador de motor trifásico con optimización de energía automática, a lo que se añade una función de arranque suave del motor para ahorrar energía. En 1982, ASEA tuvo conocimiento de esta idea y promovió una colaboración con una pequeña empresa sueca, Elfi, para utilizar componentes de Fairford Electronics junto con conocimientos técnicos de Elfi con el fin de desarrollar un arrancador suave ASEA.

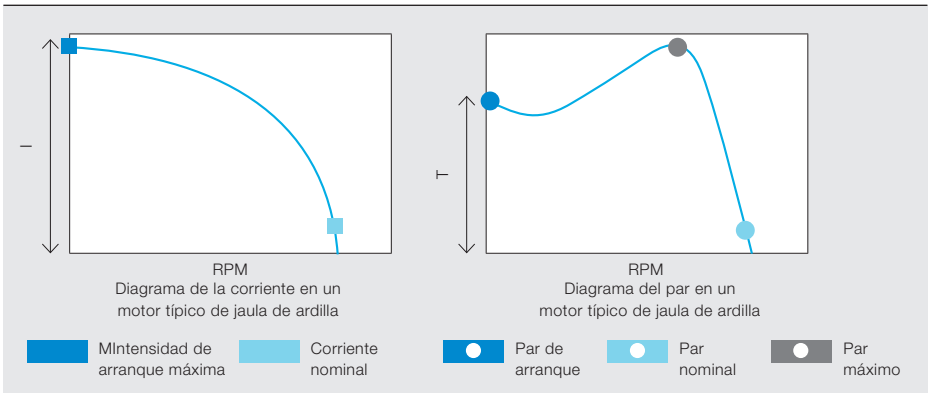
El proyecto constituyó un éxito, y el primer arrancador suave de ASEA, llamado DEHE, se presentó en la exposición de Elfack en 1984. En aquel momento, pocos eran conscientes de las ventajas de un arrancador suave, por lo que ASEA tuvo que asumir la labor adicional de enseñar tales virtudes al mercado. Las ventas iniciales estuvieron limitadas principalmente a los clientes suecos del sector de la minería y el papel.

Los componentes básicos de un arrancador suave moderno son en su mayoría los mismos que en las primeras versiones. Un contactor, un relé de sobrecarga y los dispositivos de semiconductores en inverso-paralelo (tiristores) → 6. También hay una tarjeta de circuito impreso, un sumidero de calor, ventiladores y una carcasa.

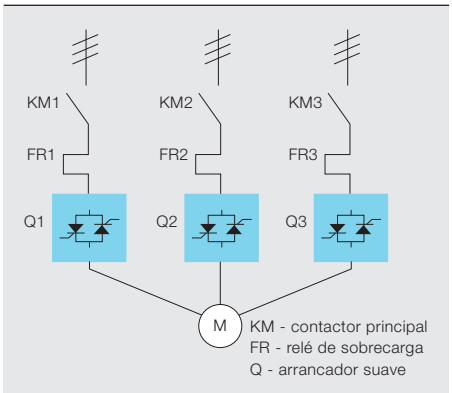
En 1993 se presentó una nueva versión: el PSD, que presentaba más funciones. Al ofrecer una gama de tensiones, abrió nuevos mercados por todo el mundo. El PSD tuvo éxito a lo largo de la década de 1990 y aunque Fairford Electronics siguió siendo responsable de los aspectos técnicos, ABB aprovechó su sólida organización y experiencia comercial para vender el producto ampliamente.

El primer arrancador suave de ABB, tipo PSS, apareció en 2000, diseñado y fabricado en una planta dedicada en exclusiva a este producto, ubicada en Orjan, a las afueras de Vasteras (Suecia). Dos años después, se mejoró aún más el producto y se separó la serie en productos de gama baja (el PSS) y gama alta (el PSD).

5 Corriente y par de motor de inducción. Sin un arrancador suave, los valores iniciales pueden ser un múltiplo de los valores nominales



6 Arrancador suave: esquema simplificado



7 Gama de arrancadores suaves de ABB.

El primer arrancador suave de ASEA, llamado DEHE, se presentó en la exposición de Elfack en 1984.

En 2004 se lanzó una nueva versión, el PST, que contribuyó a que ABB se convirtiera en el líder del mercado de los arrancadores suaves, en especial en China. El PST fue el primer arrancador suave en incorporar un by-pass para funcionamiento normal, lo que ahorra energía al evitar las pérdidas por conducción en los tiristores. El posterior trabajo de desarrollo se concentró en algoritmos nuevos que reforzaran la funcionalidad del producto, y en el uso de herramientas de modelización y simulación para investigar el funcionamiento del arrancador suave cuando se aplica a bombas de agua. La reducción de costes también estuvo presente, y en 2010, cuando se presentó el PSE, ABB había establecido un claro liderazgo en el ámbito de los arrancadores suaves.

Para 2014 se había reconocido la importancia de la comunicación del dispositivo, y muchos de los arrancadores suaves actuales están equipados con un puerto para ese fin, que suele hacerse por cables de fibra óptica → 7. Admite numerosos protocolos de comunicación, por ejemplo, Modbus, PROFIBUS, DeviceNet, Interbus-S, Lon-Works, etc. Además, ha quedado claro también que el diagnóstico, la interfaz hombre-máquina (HMI) y la integración de los arrancadores suaves con otros aparatos [como los controladores lógicos programables (PLC)] son también características clave. Todas estas consideraciones se tuvieron en cuenta en el PSTX, el nuevo arrancador suave de ABB.

Como sucede con muchos otros aparatos industriales, la necesidad de disponer de diagnósticos aumentará en el futuro al adquirir mayor importancia la fiabilidad y la disponibilidad. Nuevas tecnologías disruptivas, como la Internet de las cosas, los servicios y las personas (IoTSP), están liderando claramente la tendencia para conectividades a mayor nivel que mejoren el mantenimiento preventivo y la integración con el entorno de la fábrica.

Hector Zelaya De La Parra
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
hector.zelaya@se.abb.com

Maria Widman
ABB Electrification Products, Protection and Connection
Vasteras, Suecia
maria.widman@se.abb.com

Sören Kling
ABB Electrification Products, Sales & Marketing
Vasteras, Suecia
soren.kling@se.abb.com

Gunnar Johansson
ABB Electrification Products, Protection and Connection
Vasteras, Suecia
gunnar.c.johansson@se.abb.com

Ideas en acción

La vanguardia del desarrollo de los motores

FREDDY GYLLENSTEN, DMITRY SVECHKARENKO, REZA RAJABI MOGHADDAM – **ABB ha desarrollado una tecnología revolucionaria llamada "motor síncrono de reluctancia", cuyas siglas son SynRM. El diseño de motores eléctricos SynRM los hace intrínsecamente fiables, de alto rendimiento y capaces de contener altos niveles de potencia en un pequeño volumen.**

El motor de inducción (IM) domina las aplicaciones industriales, incluso en aplicaciones de velocidad variable, como el bombeo de agua que se ilustra en ➔ 8. El motivo es que un IM arranca directamente en la red (la forma tradicional de hacerlo y la que continúa actualmente, incluso después de la introducción de los modernos convertidores de frecuencia). Sin embargo, el IM tiene algunos inconvenientes implícitos como consecuencia de su funcionamiento asíncrono que se traduce en pérdidas relativamente altas en el rotor, y calentamiento de los cojinetes y devanados, que incide en los intervalos entre una operación de mantenimiento y la siguiente, y que acorta la vida de los cojinetes y el aislamiento.

Los motores síncronos de reluctancia no presentan esos inconvenientes y están mucho mejor adaptados al funcionamiento a velocidad variable.

La tecnología de los motores SynRM

Aunque se sepa desde hace tiempo, los motores de CA de imán permanente no se convirtieron en competidores de los IM hasta la década de 1980 con la creación de una nueva generación de imanes permanentes basados en elementos de tierras raras (REE). Un requisito previo para la introducción de estos nuevos imanes en los motores fue el avance paralelo de los accionamientos de CA necesarios para controlarlos y manejarlos.

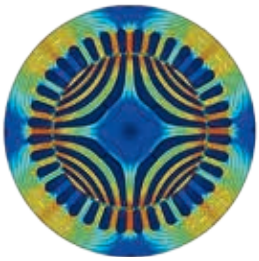
> Los inconvenientes de un IM no se presentan en un motor síncrono de reluctancia que está mucho mejor adaptado al funcionamiento de velocidad variable.

No obstante, los REE son caros y su precio puede verse sometido a variaciones. Además, su intenso campo magnético del rotor puede hacer más difícil el mantenimiento, un aspecto clave para un motor industrial clásico. Entra en escena el motor síncrono de reluctancia sin REE. El motor síncrono de reluctancia es un motor eléctrico trifásico con una estructura de rotor magnéticamente anisótropa compuesto por láminas de acero eléctrico apiladas con orificios perforados como barreras de flujo. En la versión de cuatro polos, el rotor tiene cuatro ejes de alta permeancia y cuatro de baja permeancia. Alta permeancia quiere decir alta conductividad magnética y mayor inductancia, en tanto que baja permeancia significa menor inductancia. Reluctancia es lo contrario de permeancia y es, en términos prácticos, resistencia magnética; una alta reluctancia origina una baja inductancia. Los ejes con alta permeancia (hierro) pueden considerarse como el eje directo o eje "d", mientras que los de alta reluctancia (aire) serían los ejes de cuadratura o ejes "q" ➔ 9.

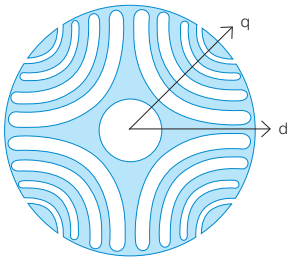
Cuando se produce un campo magnético en el entrehierro al aplicar corrientes de excitación a los devanados del estator, el rotor trata de alinear su eje más conductivo magnéticamente (el eje "d") con el campo aplicado, a fin de minimizar la reluctancia en el circuito magnético. En otras palabras, se produce un par en el espacio de aire entre el estator y el rotor siempre que el vector del campo aplicado y el eje "d" del rotor dejen de estar alineados. Esto hace que el rotor gire. El rotor se mueve en sincronía con el campo magnético aplicado, tratando de minimizar la reluctancia en el circuito magnético. Este principio funcional ha dado su nombre a la tecnología: reluctancia síncrona.

8 Bombeo de agua con motores industriales de BT

9 Motor síncrono de reluctancia de cuatro polos



9a Sección transversal de un motor síncrono de reluctancia de cuatro polos



9b Definición de los ejes magnéticos “d” y “q” del rotor

9c Montaje del motor

Puesto que el rotor no tiene devanados y, por tanto, no tiene pérdidas por efecto Joule, trabaja considerablemente más frío y con mejor rendimiento y fiabilidad que un IM. Los motores síncronos de reluctancia funcionan con suavidad debido a la distribución sinusoidal en el entrehierro y al funcionamiento con corriente sinusoidal. Un inconveniente es que el motor no puede ponerse en marcha con una alimentación directa en línea, ya que debe conocerse la posición del rotor.

Historia del desarrollo del motor SynRM

La implicación de ABB en SynRM comenzó en 2004, cuando se detectaron nuevas oportunidades para los motores síncronos de reluctancia en el floreciente mercado basado en VSD. Esta tecnología permitiría mayores rendimiento y fiabilidad, sin necesidad de imanes permanentes de REE. Los resultados favorables de las exploraciones iniciales llevaron eventualmente a un proyecto de tecnología que comenzó en 2007. Al mismo tiempo, se comprobó si había demanda del producto en el mercado.

Para profundizar en la comprensión de la materia, en 2006 se inició un máster de ciencias (MSc) sobre el concepto del motor. A este trabajo le siguió posteriormente una tesis doctoral.

En 2009 se habían realizado progresos técnicos satisfactorios, por ejemplo, el fallo de los cojinetes y de las láminas del rotor habían llevado a pruebas completas de duración y de análisis del modo de fallo. En 2011, el desarrollo había avanzado lo suficiente para sacar a la luz el SynRM en la Feria de Hannover. Ese mismo año, la tecnología recibió el premio Automation Award en la exposición SPS IPC Drives, en Alemania. Los primeros productos se lanzaron en 2012.

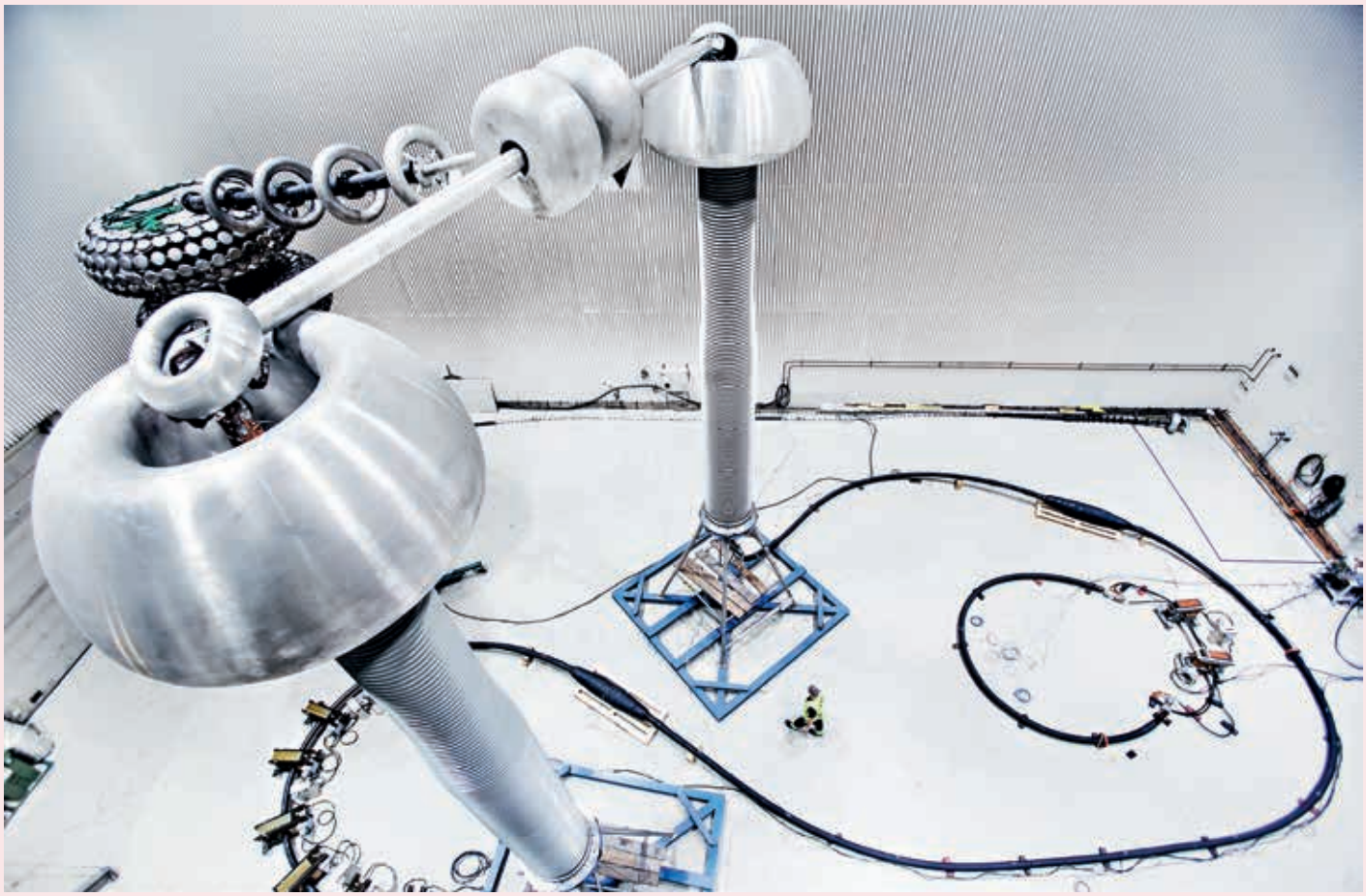
La implicación de ABB en SynRM comenzó en 2004.

En 2014 se presentó una ampliación de la gama de productos SynRM: el SynRM2. Una característica exclusiva de este motor (desarrollada especialmente por los principales colaboradores de ABB en el ámbito de SynRM, Alessandro Castagnini, Pietro Savio Termini y Giulio Secondo) es que utiliza imanes de ferrita (Fe_2O_3), que tienen normalmente mejor relación coste-eficacia y se obtienen con más facilidad que los imanes REE. Esto se traduce en un producto muy potente, y sostenible desde el punto de vista económico y ecológico.

El año siguiente, 2015, la familia SynRM se amplió una vez más con la introducción de la tecnología DOL SynRM, que puede arrancar directamente en la red puesto que está equipada con una jaula de ardilla dentro de las barreras del rotor del SynRM.

SynRM ha recorrido un largo trecho desde sus primeros días, pero sigue siendo una tecnología relativamente joven para el uso comercial. Los productos actuales de ABB tienen el potencial de mejorar aún más sus prestaciones con diseños y construcciones actualizados, y de esa forma ofrecer soluciones optimizadas para las numerosas y variadas necesidades de los clientes.

Freddy Gyllensten
Dmitry Svechkarenko
Reza Rajabi Moghaddam
ABB Discrete Automation and Motion,
Motors and Generators
Vasteras, Suecia
freddy.gyllensten@se.abb.com
dmitry.svechkarenko@se.abb.com
reza.r.moghaddam@se.abb.com



Un enlace directo

Tecnología HVDC para un mejor transporte de energía eléctrica

La sociedad moderna ha evolucionado de modo que necesita el transporte de grandes cantidades de energía eléctrica a través de regiones y continentes. Las líneas eléctricas de corriente continua de alta tensión (HVDC) son la solución perfecta. Aparte de la mayor eficiencia de esta tecnología, la electrónica de potencia moderna ha simplificado esta tecnología, y la infraestructura necesaria es menos compleja y menos voluminosa, aparte de adecuarse mejor a conceptos como las redes inteligentes que la corriente alterna de alta tensión (HVAC)

Imagen del título
El número de conexiones de HVDC que se instalan por todo el mundo para transportar eficientemente grandes cantidades de energía eléctrica no deja de aumentar. Aquí se muestra un sistema de cable extruido de HVDC de 525 kV sometido a prueba.

Tras haber sido derrotada en el campo del transporte y la distribución de electricidad por la tecnología de CA a comienzos de siglo XX, la tecnología de CC tuvo que esperar hasta la década de 1950, con la llegada de las tecnologías de convertidores, para recuperar su protagonismo.
Al principio, la CC había perdido terreno con respecto a la CA porque presentaba diversas dificultades, como el modo de elevar o reducir la tensión, una tarea relativamente simple en el mundo de la CA. Sin embargo, la CC es una forma muy superior de transportar energía, ya que el trabajo a altas tensiones (y, por consiguiente bajas intensidades) es más eficiente.
A lo largo de las décadas, la HVDC se ha usado para el transporte submarino de energía eléctrica y las conexiones directas (back-to-back), pero la tecnología necesaria para ello era electromecánica y engorrosa. Hubo que esperar a la llegada de los componentes de la electrónica de potencia, como los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), para que los sistemas compactos HVDC resultaran factibles económica y prácticamente. El producto de ABB en el ámbito de los convertidores de fuente de tensión (VSC) de HVDC se llama HVDC Light®.
Un sistema HVDC Light no es un solo producto, sino que la implantación de la HVDC en el núcleo del sistema exige toda una serie de productos y soluciones innovadoras, como los cables y los interruptores idóneos, así como la avanzada electrónica de potencia.

Un enlace directo

Transporte eficiente de electricidad con HVDC Light®

JAN R. SVENSSON – La actividad de ABB en el ámbito de la HVDC se retrotrae hasta un estudio realizado por Gunnar Asplund, director de investigación de HVDC, en 1993 sobre la utilización de los VSC para la HVDC. En los años transcurridos desde entonces se han instalado por todo el mundo enlaces de HVDC aún mayores y más perfeccionados y la HVDC se ha convertido en un negocio de miles de millones de dólares para ABB.

Partiendo de los positivos resultados del estudio de Asplund, ABB inició en agosto de 1994 un gran proyecto para explorar más a fondo el método VSC.

El IGBT ha sido el caballo de carga de la nueva tecnología. Los IGBT son dispositivos de semiconductor metal-óxido (MOS) en los que la potencia necesaria para el control del componente es muy reducida y puede obtenerse del circuito amortiguador conectado en paralelo. Por lo tanto, no se precisa alimentación auxiliar a nivel del suelo para el grupo de puerta (GU). Además, el GU puede controlar con precisión el encendido y apagado del IGBT, lo que hace posible conectar los IGBT en serie.

La tecnología clave desarrollada por ABB fue la conexión en serie de IGBT encapsulados a presión ("press-pack") para manejar altas tensiones, junto con el desarrollo de un concepto de modo de fallos de cortocircuitos (SCFM) y un adecuado régimen de pruebas.

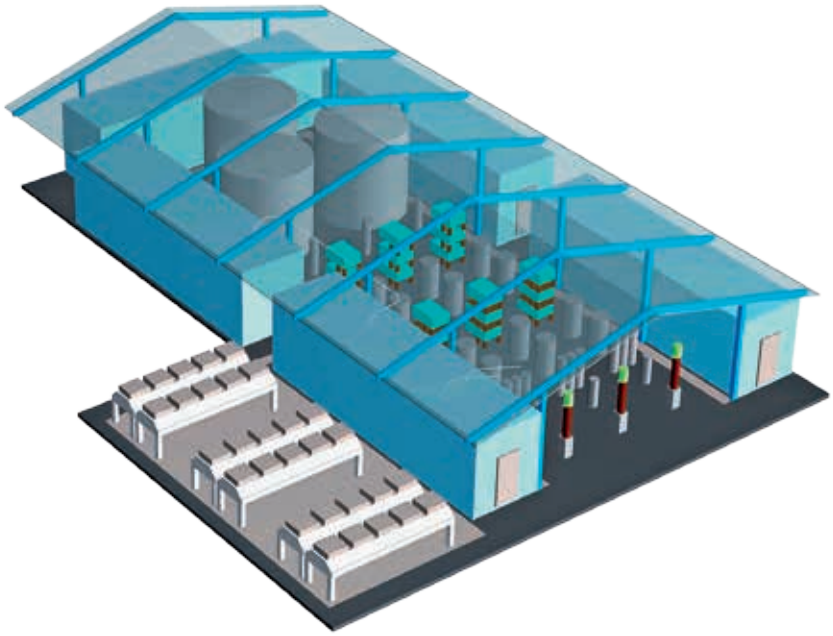
Para manejar correctamente IGBT conectados en serie hay que conmutar (encendido o apagado) todos al tiempo a fin de que cada uno sea sometido al mismo esfuerzo de tensión. En el caso de una estación HVDC con VSC, es necesario conmutar cientos de IGBT individualmente en una fracción de microsegundo.

> Una tecnología clave desarrollada por ABB fue la conexión en serie de IGBT encapsulados a presión para manejar altas tensiones.

Se desarrolló un concepto completo de conexión en serie, incluyendo diseño, fabricación y ajuste de los GU junto con los circuitos amortiguadores y la alimentación. Por último, se verificó el concepto construyendo un prototipo de puente H con cuatro IGBT conectados en serie por cada válvula.

La viabilidad del concepto HVDC con VSC se demostró en 1997 mediante un demostrador instalado entre Hallsjon y Granges-berg, en Suecia central, en una

1 Proyecto de HVDC Light en Gotland



línea de CA de 50 kV, de 10 km, temporalmente fuera de servicio. Las especificaciones del demostrador eran:

- Valores nominales de 3 MW / ±10 kV, frecuencia de conmutación 1.950 Hz.
- Dos estaciones con VSC de dos niveles y tres fases.
- IGBT press-pack de 2,5 kV/250 A.
- IGBT refrigerados con agua desionizada.
- Mezcla de línea aérea y cable.
- Interruptor y seccionador de CC que utilizaba IGBT conectados en serie.

El 10 de marzo de 1997 se transportó energía eléctrica en el primer sistema HVDC con VSC del mundo. Fue seguido por un amplio programa de pruebas que demostró que el concepto cumplía todas las expectativas.

Presentación de HVDC Light

En mayo de 1997, ABB lanzó HVDC Light e invitó a clientes a Suecia para seminarios y una visita de estudio al demostrador. El diseño de HVDC Light se basaba en un concepto modular con varios tamaños estandarizados en un margen entre 10 y 100 MW. El diseño tenía convertidores de dos niveles hasta unos ± 80 kV.

HVDC Light se presentó como un producto respetuoso con el medio ambiente: ya que la energía eléctrica se transporta a través de un par de cables subterráneos, no hay impacto visual. La tensión equilibrada con tierra elimina la necesidad de un electrodo, ya que no hay corriente de tierra y no se emite campo electromagnético desde el par de cables.

Las estaciones están diseñadas para que no precisen dotación humana y, en principio, no requieren mantenimiento. Pueden manejarse a distancia. La primera instalación piloto de HVDC Light empezó a funcionar en noviembre de 1999 en la isla sueca de Gotland con dos cables extruidos de 80 kV, con una longitud total de 140 km que conectaban las estaciones terminales ➔ 1.

Aplicaciones

Como tal generador síncrono, el VSC crea sus propias tensiones de fase. Un controlador en cascada consigue un rápido control de las corrientes activa y reactiva de forma independiente entre sí en un controlador interno, mientras que el otro controlador exterior, más lento, supervisa la referencia de potencia activa o bien la de la tensión del enlace de CC, utilizando la corriente activa. La corriente reactiva se usa para controlar la tensión de CA o para inyectar/consumir energía reactiva. El controlador en cascada junto con los bucles de control exterior permiten atender a una amplia variedad de ámbitos de aplicación, por ejemplo:

- Redes de interconexión.
- La conexión de activos de producción de energía alejados del consumidor (por ej., energía eólica marina) y la alimentación de cargas remotas (por ej., electricidad desde la costa a plataformas de petróleo y gas).
- Los enlaces de CC en redes de CA mejoran el rendimiento de éstas. HVDC Light elimina los cuellos de botella de las redes existentes y facilita los derechos de paso para las líneas de cables. Además, HVDC Light mejora la estabilidad y la fiabilidad de las redes de CA y aumenta la calidad de la energía eléctrica.
- Suministro a centros urbanos. HVDC Light ocupa poco espacio y su tecnología de cable facilita el derecho de paso en las rutas existentes.

Tensiones y potencias mayores

Para satisfacer la demanda de los clientes de mayores potencias y menores pérdidas, los semiconductores de potencia de HVDC y su encapsulado han experimentado un desarrollo continuo. Esto ha permitido la optimización de las topologías de convertidores y los algorit-

La viabilidad del concepto HVDC con VSC se demostró en 1997 mediante un demostrador de 10 km, de 3 MW / ±10 kV, instalado en Suecia central.

2 Plataforma Troll A. La estación HVDC Light es el bloque gris entre las grúas

mos de control, incluyendo las estrategias de modulación del ancho de impulso (PWM).

HVDC Light: 2002 – 2005

Se creó una nueva generación de cable extruido aislado con polímero, que permitiera una tensión del enlace de CC de ± 150 kV. Asimismo se desarrolló una estación convertidora utilizando un VSC de punto neutro activo fijado de tres niveles. Estos se utilizaron en dos proyectos: Cross Sound Cable, de 330 MW, y Murray Link, de 220 MW. La separación entre estaciones en este último es de 180 km.

HVDC Light: 2005 – 2007

En un avance posterior, una nueva generación de semiconductores hizo posible retornar a la topología de convertidor de dos niveles empleando un algoritmo de PWM optimizado. Se ejecutaron varios proyectos, incluidos el enlace de Caprivi, de 300 MW, que fue el primer HVDC Light con un enlace aéreo para conectar las partes nordeste y central de Namibia (950 km).

HVDC Light: 2007 – actualidad

El HVDC Light más reciente suministra energía con menores pérdidas utilizando una topología de convertidor modular multinivel (MMC) con células de convertidor de semipuente. Este avance técnico ha permitido proyectos tales como el DolWin1, de 800 MW, que es el primer proyecto de HVDC Light en el que se utilizan cables extruidos de 320 kV; y el North Sea Link, de 1.400 MW, que es una conexión HVDC Light bipolar entre Noruega y el Reino Unido (730 km). Se pondrá en servicio en 2021.

Sistemas de accionamiento que emplean HVDC Light en una plataforma marina

Muchas aplicaciones marinas son candidatas ideales para la tecnología HVDC. La plataforma de gas Troll A en el Mar del Norte, por ejemplo, utiliza compresores para inyectar gas a presión en las conducciones, que envían gas a tierra firme, a unos 70 km. Normalmente, el generador de la plataforma necesario para alimentar los compresores es voluminoso y no especialmente eficiente. Sin embargo, ABB ha estado trabajando en motores eléctricos de muy alta tensión (VHV) basados en devanados de estator que aprovechan los cables de CA extruidos con aislamiento de polímero. Un motor VHV puede conectarse directamente a HVDC Light sin utilizar un transformador. La utilización de energía desde tierra firme por medio del motor VHV y HVDC Light aporta muchas ventajas:

- La electricidad generada en tierra firme produce menos emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mayor rendimiento y menor mantenimiento que las turbinas de gas o los motores diésel.
- Menores peso y necesidad de espacio en la plataforma.

En 2005 se instalaron dos sistemas en paralelo en Troll A: ±60 kV con un motor VHV de 44 MW/56 kV CA. Otros dos sistemas se completaron en 2015 con un motor VHV de 50 MW y tensión de 66 kV CA ➔ 2.

El futuro es HVDC Light

En sólo 19 años, el visionario demostrador de 3 MW ha multiplicado su presencia a 25 instalaciones HVDC Light que transportan más de 10 GW y ha permitido que el negocio mundial de de ABB aumente a cifras de miles de millones de dólares. El rápido desarrollo de HVDC Light proseguirá gracias a agentes tales como el cambio climático, la adición de energías renovables a la red, la demanda de energía de más calidad y la estrecha integración de los mercados de energía con la infraestructura eléctrica.

El atractivo de HVDC Light continuará creciendo mientras la tecnología haga ascender la potencia y descender las pérdidas con la introducción de nuevos semiconductores, nuevos materiales para los cables y nuevos convertidores de alta tensión.

Jan R. Svensson
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
jan.r.svensson@se.abb.com

Un enlace directo

Seccionador ultrarrápido para interruptores de HVDC híbridos

LARS LILJESTRAND, JÜRGEN HÄFNER –
Un seccionador ultrarrápido es un componente fundamental del nuevo interruptor de HVDC híbrido de ABB. La historia del desarrollo del interruptor de HVDC híbrido es un ejemplo de libro de texto del poder de la electrónica de potencia.

Cualquier sistema eléctrico debe poder enfrentarse a las averías desconectando el fallo y aislando solamente la parte del sistema eléctrico que sea necesaria. Con las líneas actuales de transporte punto-punto de HVDC, los interruptores de CA de cada extremo pueden hacerse cargo de esta tarea → 3. No obstante, los sistemas de HVDC se configurarán cada vez más en redes, y la utilización de los interruptores de CA para eliminar averías provocaría la caída de toda la red → 4. Además, hay que eliminar los fallos de HVDC en unos pocos milisegundos, mucho más rápidamente que en un sistema de CA comparable.

En otras palabras, es preciso un interruptor de HVDC.

Interruptor de HVDC híbrido

Hasta hace poco, ningún interruptor de CC había demostrado ser idóneo para HVDC, a causa de la alta tensión de la HVDC, la corriente de cortocircuito alta y de ascenso rápido, y la exigencia de una rápida interrupción de la corriente. Esto constituyó el motivo para que ABB desarrollara un nuevo tipo de interruptor: el interruptor de CC híbrido. El innovador interruptor combina las bajas pérdidas de un interruptor mecánico con las mejores capacidades de interrupción de la corriente de un interruptor de electrónica de potencia, y cumple los requisitos de una rápida interrupción de las corrientes de cortocircuito en las redes de HVDC.

> Los requisitos exclusivos impuestos al interruptor mecánico no los satisfacían los que existían previamente, lo que convertía al UFD en un componente fundamental del interruptor híbrido.

El nuevo interruptor se compone de una rama principal, que incluye interruptores de electrónica de potencia y descargadores de sobretensiones, y una rama en paralelo que incluye un seccionador ultrarrápido (UFD) y un conmutador de cargas de electrónica de potencia → 5. Los requisitos exclusivos impuestos al interruptor mecánico no los satisfacían los que existían previamente, lo que convertía al UFD en un componente fundamental del interruptor híbrido.

El seccionador ultrarrápido

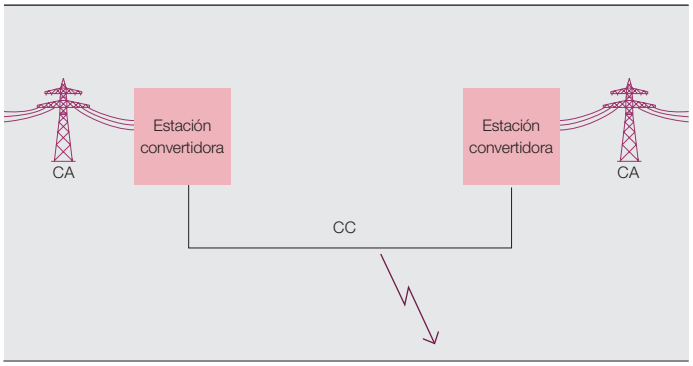
El seccionador ultrarrápido es un interruptor mecánico muy rápido, capaz de soportar intensidades nominales altas con pérdidas insignificantes. Tras su apertura, debe ser capaz de soportar una alta tensión durante algunos milisegundos. Esta función se consigue gracias a un sistema de contactos conectados en paralelo y en serie.

Los contactos conectados en paralelo permiten altas intensidades nominales cuando se cierra el interruptor; el conectado en serie permite soportar una alta tensión cuando se abre el interruptor → 6–7. El corto recorrido del actuador del contacto conectado en serie permite una rápida apertura, al tiempo que asegura una larga duración mecánica. Los actuadores son del tipo Thomson y se mueven en direcciones opuestas para duplicar la velocidad de separación del contacto. El interruptor se instala en gas a presión para un mejor aguante de la tensión.

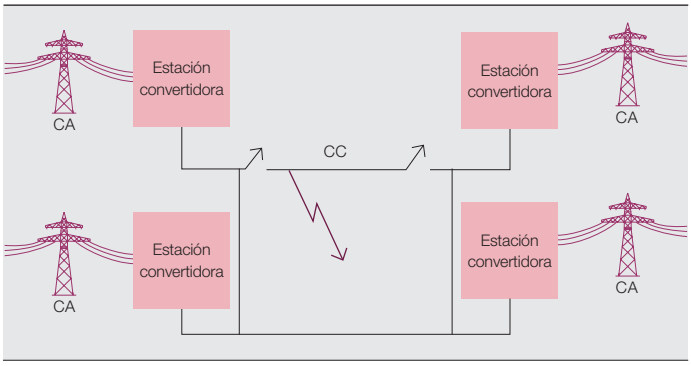
Historia del UFD: 2000–2002

En 1999 se observó la necesidad de un conmutador rápido para el bypass de los interruptores de electrónica de potencia, y en 2000 se comenzó un proyecto para crear un demostrador destinado a aplicaciones de limitador de corriente de fallo de

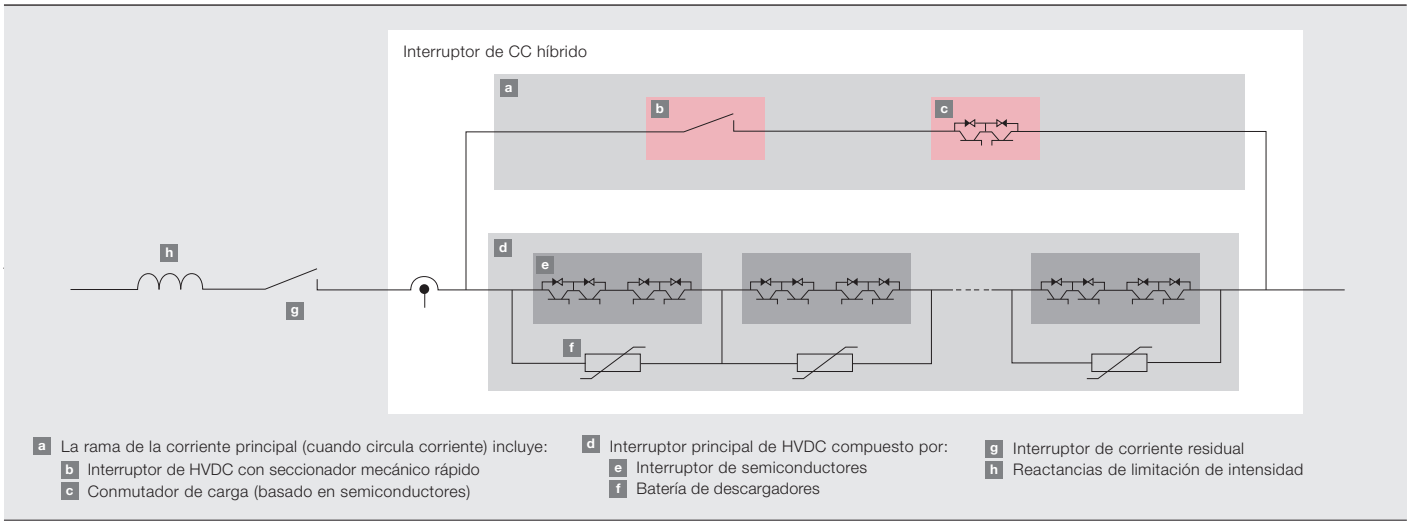
3 Pueden utilizarse interruptores de CA para desconectar cuando se produce una avería en una línea HVDC punto a punto



4 La utilización de un interruptor en la sección de CA del sistema eléctrico para eliminar un fallo en una red de HVDC desactivaría toda la red

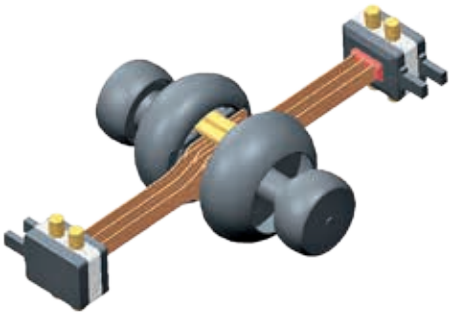


5 Interruptor de HVDC híbrido



6 Contactos conectados en paralelo en el UFD

7 Contactos conectados en serie en el UFD



media tensión (MT). El diseño inicial utilizaba contactos giratorios y fue un éxito, de modo que pronto se inició un proyecto completo y en ese mismo año se consiguió un diseño de contacto lineal mejorado.

En 2002 se finalizó el desarrollo de la tecnología para la aplicación de MT de 17,5 kV.

UFD: 2010-momento actual

En 2010 se debatía sobre la cuestión de las redes de HVDC, pero no existía un interruptor adecuado para las demandas de HVDC. Se propuso un interruptor de CC híbrido, pero no existía el UFD que precisaba. Quienes estaban familiarizados con los trabajos de conmutador rápido de los 10 años anteriores proponían este método para el desarrollo de un UFD.

Se inició un proyecto para comprobar si el concepto anterior podía ser ampliado de 17,5 kV a 320 kV. También se evaluaron y compararon otros conceptos. Como demuestra la historia, se observó que el conmutador basado en la conexión en serie y en paralelo de contactos mecánicos cumplía los requisitos y era el más adecuado para la aplicación. La productización (transformación en un producto) se inició en 2011 en Suiza.

El trabajo de desarrollo iniciado en 1999 sigue aún dando frutos y cabe esperar que los interruptores de electrónica de potencia en combinación con un bypass mecánico en paralelo puedan utilizarse en otras aplicaciones eléctricas.

Lars Liljestrand
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
lars.liljestrand@se.abb.com

Jurgen Häfner
ABB Power Grids, Grid Systems
Ludvika, Suecia
jurgen.hafner@se.abb.com

Un enlace directo

Tecnología sofisticada de cable extruido de HVDC

CARL-OLOF OLSSON – Los sistemas de HVDC avanzados necesitan cables avanzados. Los cables XLPE son la base para una tecnología sofisticada de transporte de energía eléctrica de HVDC

A finales de la década de 1940 aparecieron los primeros cables eléctricos extruidos. Como aislante para estos cables se eligió el polietileno; en primer lugar, porque tenía baja permitividad, propiedades mecánicas adecuadas y alta conductividad térmica. Unos 10 años después se estableció la tecnología del polietileno reticulado, y el aislamiento XLPE se convirtió en la opción más generalizada para los cables de alta tensión, como sigue ocurriendo.

> El aislamiento XLPE se convirtió en la opción más generalizada para los cables de alta tensión, como sigue ocurriendo.

Para los cables submarinos de HVDC se puede emplear aislamiento impregnado en masa (MI) o XLPE. Para cables terrestres se prefiere el XLPE debido al menor peso total y a la mayor facilidad para los empalmes.

Mejoras del sistema de aislamiento

En los primeros cables eléctricos, de hace siglo y medio, la capa de aislamiento se aplicaba directamente sobre el conductor. Sin embargo, pronto se descubrió que se podía conseguir un aumento considerable de la tensión de trabajo cuando se colocaba un papel metalizado alrededor del conductor para suavizar los efectos de los campos eléctricos localizados. El desarrollo de los cables continuó rápidamente, y a finales de la década de 1960 se produjo un avance importante con los cables XLPE fabricados en un proceso de triple extrusión en el que la capa de aislamiento se extruía conjuntamente con una capa interna y externa de polímero semiconductor.

En 1997, ABB presentó los sistemas de cable extruido para corriente continua. Las mejoras de las propiedades del dieléctrico del XLPE han permitido tensiones más altas, que comienzan con 80 kV y alcanzan los 525 kV → 8. El coste total de los sistemas de cables disminuye continuamente gracias al mejor rendimiento de los procesos de fabricación e instalación.

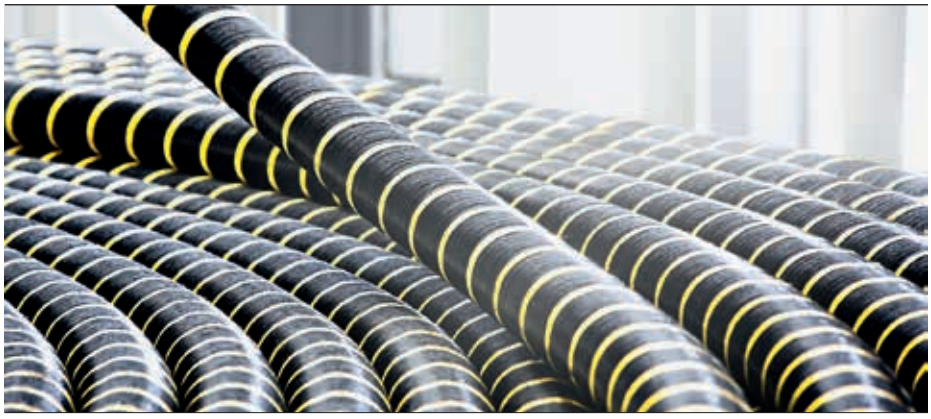
Cables de HVDC para altas potencias en distancias grandes

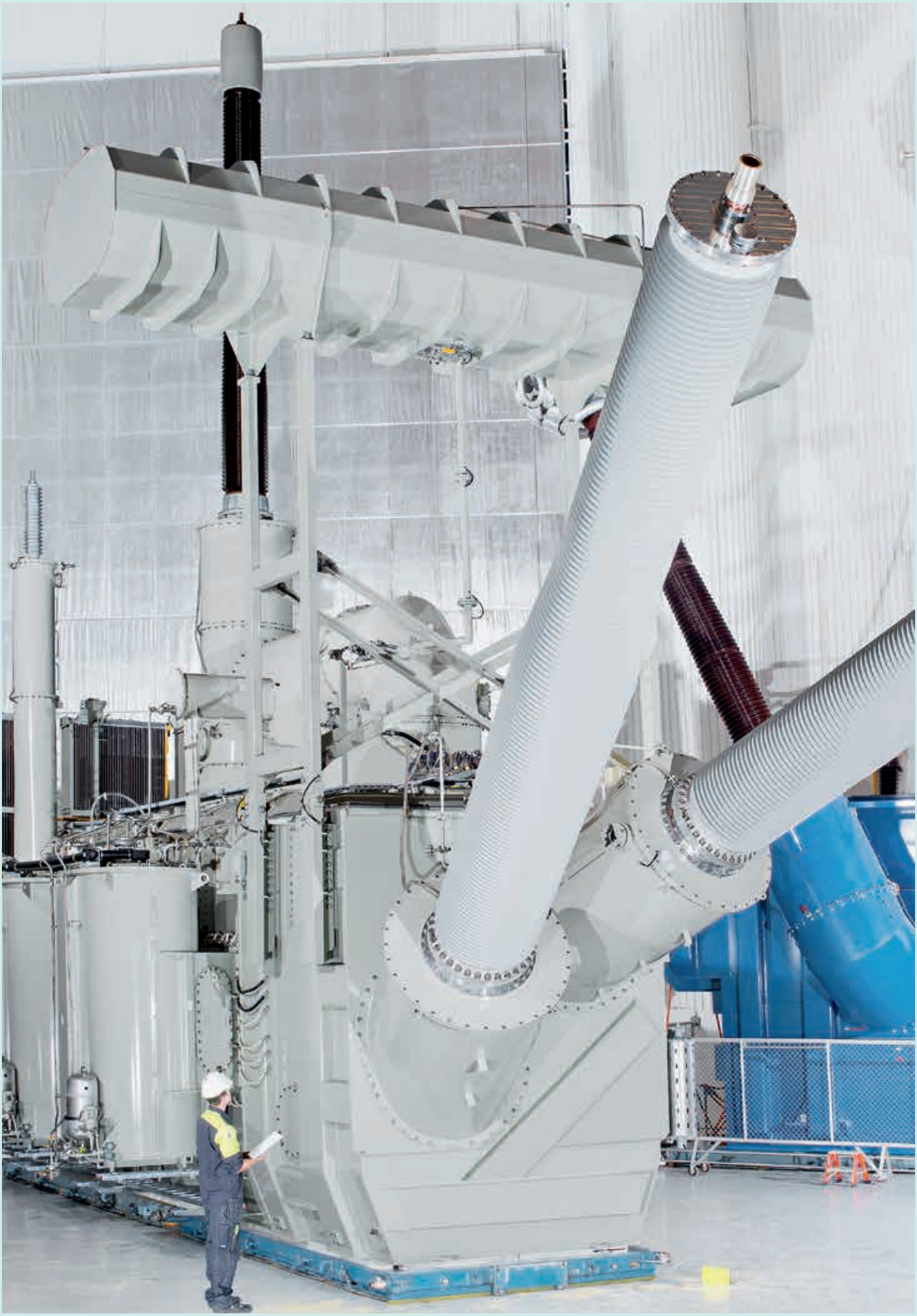
El nivel máximo de tensión en los cables de aislamiento XLPE más recientes de ABB es de 525 kV. Para hacerlo posible, se utiliza un grado de aislamiento que proporciona menor conductividad eléctrica, y se han desarrollado juntas y terminaciones especiales. Se realizaron pruebas de cualificación a una temperatura del conductor de 70 °C (los cables MI presentan una temperatura de funcionamiento máxima de 55 °C). La investigación y desarrollo del futuro permitirán muy probablemente mayores temperaturas de funcionamiento y niveles de tensión.

Las nuevas inversiones que se realicen en sistemas de cables permitirán el uso de la energía de un modo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Carl-Olof Olsson
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
carl-olof.olsson@se.abb.com

8 Los cables modernos XLPE tienen una estructura de capas sofisticada que se puede personalizar de acuerdo con la aplicación, pero que sigue siendo flexible





Transformación y cambio

La ciencia del aislamiento de los transformadores y los innovadores cambiadores de tomas para las aplicaciones de alta potencia

A medida que siguen aumentando los niveles de potencia de la red de transporte eléctrico (y se multiplica el número de GW), más se exige a los transformadores para que permitan el transporte de estas enormes cantidades de energía. En la gama de la corriente continua de ultra-alta tensión (UHVDC), los métodos de aislamiento tradicionales dejan de ser adecuados, por lo que es necesario realizar una investigación de base: por ejemplo, explorar y reducir la perturbación causada por los efectos del arrastre de iones a altas tensiones. Igualmente, deben idearse nuevos conceptos en relación con los cambiadores de tomas en carga para evitar el deterioro del aceite de aislamiento que se produciría si se utilizaran métodos clásicos de conmutación con tales niveles de alta tensión.

La tecnología UHVDC es la forma más eficiente de transportar grandes cantidades de energía a grandes distancias. La primerísima instalación de ABB de este tipo fue el enlace Gotland Link, en Suecia, en 1954. La elevación del valor de la tensión de CC de 400 kV a ± 600 kV constituyó un avance importante. Se produjo en 1984, en el proyecto de Itaipu en Brasil, una instalación que, durante más de 25 años, representó el transporte de HVDC de tensión más alta del mundo. En 2010 se instaló en China una línea de CC de ± 800 kV, y solo dos años después se estableció un nuevo récord mundial con el prototipo de transformador convertidor de 1.100 kV de CC en Ludvika, Suecia.

Imagen del título
¿A qué desafíos se enfrentan los diseñadores por los niveles de tensión muy alta a los que se espera que trabajen los transformadores?

Dado que el primer transformador de BBC relleno de aceite se fabricó en 1893 y que desde entonces ha transcurrido más de un siglo de desarrollo de los transformadores, ABB tiene la experiencia necesaria para acometer proyectos de este tipo. En los últimos años, los problemas planteados por la corriente continua de alta tensión (HVDC) y el transporte de UHVDC han propiciado nuevos avances de la ciencia básica y la tecnología, que han fortalecido aún más la posición de ABB en este ámbito. Por ejemplo, una comprensión científica de fenómenos físicos como la dinámica de iones en el sistema de aislamiento con aceite/celulosa ha contribuido considerablemente al liderazgo técnico de ABB por lo que respecta a los transformadores convertidores de HVDC y UHVDC.
La conmutación de altas tensiones plantea un reto, especialmente cuando se cambian las relaciones de devanado en un transformador de potencia empleando un cambiador de tomas en carga (OLTC). El OLTC está diseñado para manejar la potencia eléctrica que se produce cuando se corta la corriente en un paso de regulación y se inicia otra. En un OLTC tradicional, este proceso de conmutación se lleva a cabo empleando aceite de transformador como medio en la ruptura. Esto produce arcos que, a largo plazo, desgastarán los contactos y las propiedades aislantes del aceite.

ABB ha desarrollado una nueva gama de productos de OLTC basada en la tecnología del interruptor de vacío. En este enfoque, los arcos eléctricos creados durante la operación de conmutación quedan confinados en el interruptor de vacío, lo que impide la degradación del aceite y aumenta la vida de los contactos (hasta 1.000.000 de operaciones). Otra ventaja es la alta capacidad de corte de corriente de los interruptores de vacío, que permite construir OLTC con mayores potencias nominales que el tipo tradicional equivalente.

Transformación y cambio

OLTC basados en vacío

LARS JONSSON, MAGNUS BACKMAN, PETTER NILSSON – ABB ha desarrollado una nueva gama de cambiadores de tomas en carga (OLTC) basados en la tecnología del interruptor de vacío. Los nuevos OLTC encierran los arcos en un interruptor de vacío, evitando de esta forma la degradación del aceite del transformador y el desgaste de los contactos que sufren los OLTC convencionales.

Tradicionalmente, cuando se cambian las relaciones de devanado de un transformador de potencia energizado empleando un OLTC, se producen arcos en el aceite del transformador. Con el tiempo, estos arcos degradarán tanto los contactos del OLTC como las propiedades aislantes del aceite, lo cual exige mantenimiento y cambios de aceite periódicos.

Ventajas de la tecnología del interruptor de vacío

Los nuevos OLTC de ABB encierran los arcos dentro de un interruptor de vacío diseñado de manera especial. Esto impide la degradación del aceite y aumenta la vida de los contactos (hasta 1.000.000 de operaciones). Además, los OLTC que utilizan interruptores de vacío tienen una capacidad de interrupción de corriente mucho mayor que la del tipo tradicional equivalente.

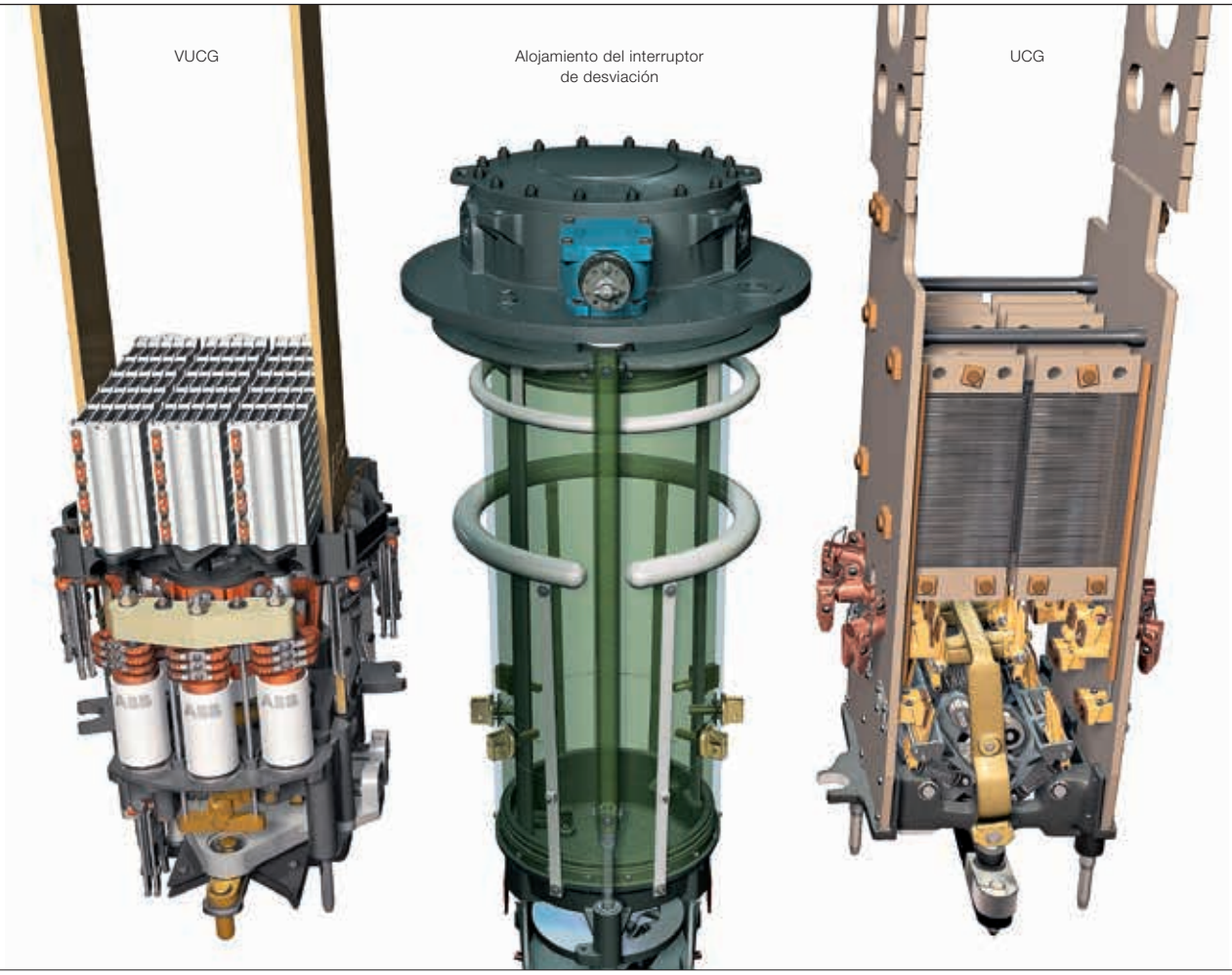
Historia del desarrollo del OLTC de interruptor de vacío

Los OLTC y los interruptores de vacío existían en paralelo desde comienzos de la década de 1900, antes de que se combinaran en un solo producto. En la década de 1970, ASEA patentó diversos aspectos de la tecnología del interruptor de vacío, incluidas aplicaciones de los OLTC. Al principio, la combinación de OLTC e interruptores de vacío se hizo con los cambiadores de tomas del tipo de reactancia que se utilizaban (y siguen utilizándose) en los Estados Unidos, que funciona en el lado de la baja tensión del transformador con intensidades elevadas.

> Los nuevos OLTC de ABB encierran los arcos dentro de un interruptor de vacío diseñado de manera especial. Esto elimina la degradación del aceite y aumenta la vida de los contactos.

No obstante, esta tecnología no cobró una mayor importancia hasta la posterior liberalización del sector de la energía en muchos países y el correspondiente impulso para mejorar la utilización de

1 La posibilidad de intercambiar interruptores de desviación facilita la actualización a pie de obra de los cambiadores de tomas clásicos de tipo UC al tipo nuevo VUC



recursos, reducir las necesidades de servicio y aumentar el ciclo de vida de los equipos.

Para satisfacer estas nuevas demandas, ABB Corporate Research de Suecia llevó a cabo un estudio previo en 2002 a fin de evaluar los OLTC basados en la tecnología del interruptor de vacío, lo que condujo a la formación, el año siguiente, de un grupo de trabajo para el proyecto y a los primeros bosquejos del diseño del VUCG. El VUCG consta de interruptores de vacío, así como de contactos auxiliares accionados por un mecanismo unidireccional que es el principal elemento diferenciador de las soluciones de los competidores.

En 2004 se diseñó y fabricó el prototipo del primer interruptor desviador VUCG. En 2005 se presentó un nuevo mecanismo de resorte que empleaba muelles de compresión, después de que las soluciones anteriores, que utilizaban muelles de reloj, demostraran una fiabilidad deficiente. Asimismo, se diseñó un nuevo rectificador mecánico para que permitiera un giro unidireccional. El VUCG se presentó en CIGRE 2006.

En 2006 se diseñó y fabricó el primer prototipo del nuevo VUCL. El diseño era similar al del VUCG, pero incluía un conmutador para puentear los interruptores de vacío en funcionamiento normal (permitiendo de ese modo mayores intensidades de corriente). El siguiente año se realizó el diseño inicial del VUBB. Asimismo se inventó un tipo de interruptor selector con compensación de la posición de la ranura de la leva.

El VUCG que se presentó en el mercado en 2008 representa una fácil actualización de la tecnología tradicional a la de vacío → 1. Ese mismo año se inició la optimización del material de contacto para el interruptor de vacío. En 2009, el modelo de VUCG alcanzó las 600.000 operaciones en una prueba de duración eléctrica. El año siguiente se diseñó y fabricó el primer circuito sintético de pruebas para cambiadores de tomas en vacío. Esto permitió realizar series largas de pruebas a alta potencia.

En 2012 se presentaron en el mercado el VUCL y el VUBB, y en 2016 ABB presentó el cambiador de tomas en vacío con mayores capacidades del mundo, el VUCG 1800. La gama de productos de vacío incluye también el VRLTC, un cambiador de tomas de tipo reactor, desarrollado por ABB para el mercado de los Estados Unidos.

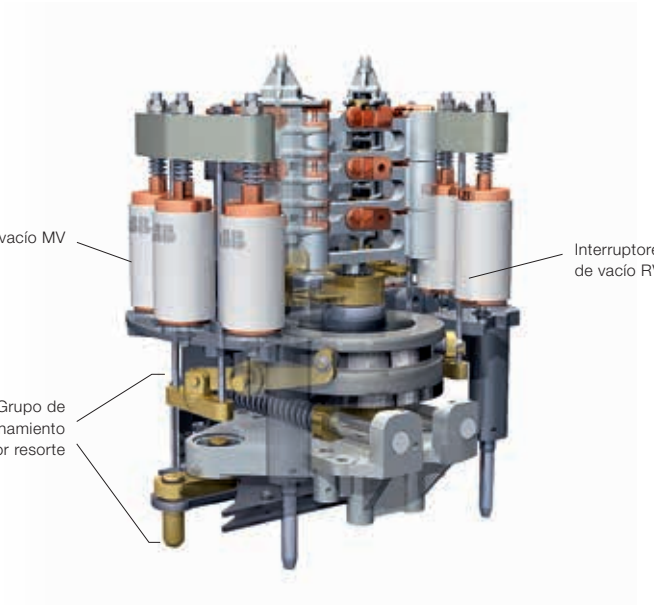
Descripción funcional

Las dos funciones fundamentales del OLCT son seleccionar la toma en un devanado provisto de ellas y conmutar la carga entre las tomas en ese tipo de devanado. En los OLTC se utilizan dos métodos fundamentales de diseño:

– Tipo de interruptor selector: Combina la selección, la conducción y la conmu-

La utilización en paralelo de interruptores de vacío para aplicaciones monofásicas reduce considerablemente el desgaste de los contactos.

2 Vista del interruptor de desviación



tación de corriente en un compartimento. El pequeño número de componentes empleados se traduce en un diseño muy compacto. Este diseño tiene restricciones que limitan su empleo a transformadores con valores nominales que no superen normalmente 100 MVA/145 kV. VUBB es un OLTC de tipo interruptor selector.

– Tipo de interruptor desviador: Separa el dispositivo de conmutación de carga del selector de tomas. Se utiliza en muy diversas aplicaciones y es el único tipo de conmutador de tomas adecuado para aplicaciones de alta potencia o alta tensión. VUCG y VUCL son OLTC de tipo interruptor desviador.

En un OLTC de tipo interruptor desviador, únicamente éste, en el que se maneja la energía conmutada, utiliza interruptores de vacío. La parte del selector de tomas es idéntica a la de un conmutador de tomas tradicional.

El interruptor desviador tiene dos conjuntos de contactos de vacío (MV, RV) y dos de contactos giratorios auxiliares → 2. La unidad de accionamiento por resorte (SDU) convierte el movimiento lento del accionamiento motor en el movimiento rápido preciso para conmutar los contactos, y también proporciona la sincronización necesaria. El hecho de que se almacene la energía en resortes asegura que se complete el ciclo de conmutación aunque falle la alimentación eléctrica. Independientemente de si el accionamiento motor inicia una maniobra de subida o de bajada, la SDU estará siempre alineada en la misma dirección, es decir, que es unidireccional. El movimiento unidireccional garantiza que la secuencia de conmutación de los contactos será la misma para todas las operaciones, lo que facilita un esfuerzo mínimo de conmutación en los contactos eléctricos.

El componente fundamental (el interruptor de vacío) se basa en más de cuarenta años de experiencia y millones de unidades servidas satisfactoriamente y, en consecuencia, es un producto extremadamente fiable. Sin embargo, en el caso improbable de fallo de un interruptor de vacío, el sistema de contactos auxiliar está diseñado para llevar a cabo por sí mismo un cierto número de operaciones de tomas y disparar la alarma de un relé protector.

Presentación del conmutador de tomas de vacío más potente del mundo

ABB da continuidad a sus cien años de historia como pionero en el ámbito de los cambiadores de tomas con la presentación del más potente de ellos, el VUCG 1800. Este modelo permite la conmutación de tomas en aplicaciones de transformadores de alta gama sin necesidad de dividir la corriente. La introducción de la ruptura en paralelo con interruptores de vacío es un paso adelante en la aplicación de la tecnología de vacío. El empleo de interruptores de vacío en paralelo para aplicaciones monofásicas reduce considerablemente el desgaste de los contactos en los cambiadores de tomas, incluso con altos niveles de intensidad y tensiones en escalón. La corriente de ruptura pasa a través de tres interruptores de vacío en lugar de solo uno, lo que distribuye el desgaste de forma más uniforme entre los contactos. El nuevo conmutador de tomas utiliza los mismos interruptores de vacío que antes, de comprobada eficacia, garantizando la misma calidad elevada y larga vida en funcionamiento que todos los cambiadores de tomas de vacío de ABB.

Otras técnicas de conmutación, por ejemplo, las basadas en semiconductores, harán posible otro salto en la tecnología. La conmutación basada en semiconductores ya ha sido aplicada en una instalación piloto y, como en el caso de la tecnología de vacío, llegará el momento en que encuentre un uso normal en los OLTC.

Lars Jonsson
Magnus Backman
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia
lars.e.jonsson@se.abb.com
magnus.backman@se.abb.com

Petter Nilsson
ABB Power Grids, Transformers
Ludvika, Suecia
petter.nilsson@se.abb.com

Transformación y cambio

Investigación fundamental sobre transformadores convertidores de UHVDC

JOACHIM SCHIESSLING, OLOF HJORTSTAM, MATS BERGLUND – **El transformador convertidor que conecta la válvula del convertidor con la red de CA es un componente fundamental de las estaciones convertidoras de UHVDC. Para diseñar un aislamiento eléctrico para CC rentable y robusto para este transformador, es esencial comprender perfectamente tanto el material en sí mismo, como el proceso físico que se produce en el aislamiento sometido a la carga de la CC.**

El objetivo principal del transformador convertidor en una estación convertidora HVDC es transformar las tensiones de CA de la red de CA al lado de CA de la válvula convertidora. El aislamiento eléctrico de un transformador convertidor varía respecto al de un transformador de potencia normal, puesto que tiene que soportar la carga combinada de CA y CC. Mientras que el parámetro del material que determina la distribución del campo de CA es la permitividad, la distribución del campo de CC viene determinada por la resistividad. El cartón prensado y el aceite difieren en un factor de 2 para la permitividad y en uno de 100 para la resistividad, en consecuencia, se precisa más aislamiento sólido en un transformador convertidor.

Una característica importante del comportamiento en relación con la CC del material aislante es que el parámetro determinante no es constante. La resistividad del aceite varía con la carga eléctrica aplicada, la temperatura, el periodo de energización, el contenido de humedad, etc. Asimismo, la migración de iones en los campos de CC produce cargas espaciales en las interfaces de aislamiento que influyen considerablemente en la distribución del campo eléctrico.

Para diseñar un aislamiento eléctrico para CC rentable y robusto, es esencial comprender perfectamente tanto los procesos físicos que se producen bajo la carga de CC como conocer el material. Normalmente, el aislamiento eléctrico se proyecta empleando cálculos simplificados basados en un circuito RC equivalente → 3. Sin embargo, esto no puede cubrir aspectos tales como la acumulación de cargas espaciales y el complejo comportamiento de la resistividad del aceite del transformador.

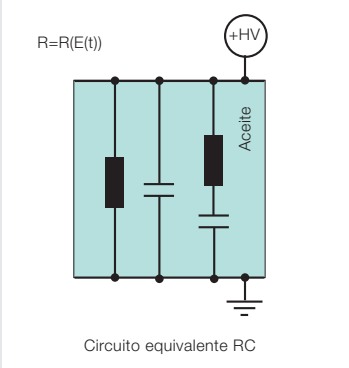
En la década de 1980, el centro de investigación de ASEA en Vasteras investigó las propiedades para CC del aislamiento eléctrico y desarrolló un modelo que tuvo en cuenta la generación y el arrastre de iones. El modelo se verificó y aplicó experimentalmente en una herramienta de simulación. Gracias a estas constataciones se ha desarrollado una solución técnica exclusiva.

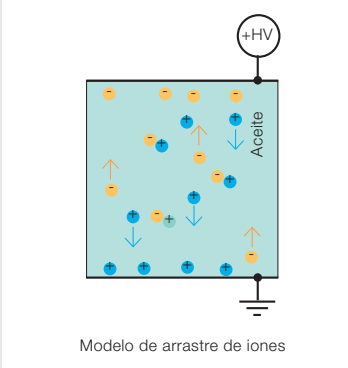
Modelo de arrastre de iones para el aislamiento de aceite/celulosa

La resistividad de los líquidos aislantes, como el aceite mineral, no es una propiedad intrínseca o bien definida de los materiales. La resistividad aparente de

El comportamiento no lineal de los líquidos aislantes hace difícil emplear modelos resistivos clásicos para predecir la distribución en campos eléctricos.

3 Dos métodos de simulación para sistemas de aislamiento de CC





3a Circuito equivalente RC **3b Modelo de arrastre de iones**

4 Las ecuaciones de la densidad iónica en función del tiempo en aislante líquido Estos cálculos tridimensionales precisan un ordenador de gran potencia para conseguir buena precisión

El modelo de arrastre de iones

Ecuaciones de continuidad de la concentración de iones positivos (p) y negativos (n):

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\mu_p \overline{E} p - D_p \nabla p\right) = S$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} - \nabla \cdot \left(\mu_n \overline{E} n - D_n \nabla n\right) = S$$

donde μ_n, μ_p, D_n D_p corresponden a las constantes de movilidad y difusión eléctricas para iones positivos y negativos.

El término original incluye la generación y la recombinación de iones:

$$S = K_D^0 \mathrm{cF(E)} - K_R pn$$

donde F(E) proporciona la contribución dependiente del campo Osanger a la tasa de generación de iones. Ecuación de Poisson que incluye cargas espaciales (p-n):

$$\nabla \cdot (\varepsilon_o \varepsilon_r \overline{E}) = \mathrm{q(p - n)}$$

donde ε_o y ε_r son la constante del dieléctrico y la constante relativa del dieléctrico.

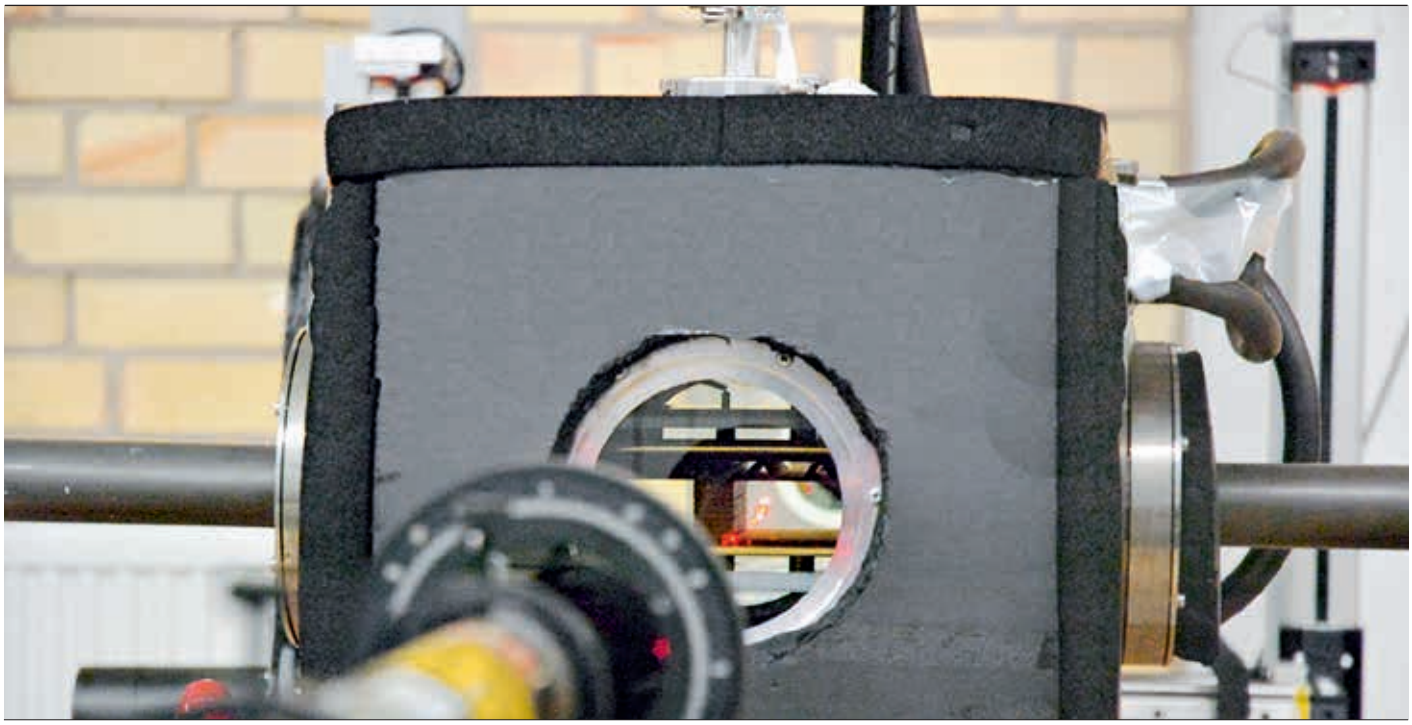
El sistema de detección, extremadamente sensible, para medir el esfuerzo eléctrico en el aceite mineral aprovecha directamente el efecto electro-óptico Kerr

un líquido de ese tipo viene definida por la concentración de iones libres y su movilidad eléctrica. No obstante, si se expone un líquido a un campo eléctrico, los iones libres empezarán a moverse siguiendo la dirección del campo, causando reducción de iones y, de esa forma, una menor resistividad (en ciertas regiones). Esto representa que la resistividad aparente depende del "historial de carga eléctrica" del aceite.

Tal comportamiento no lineal de los líquidos aislantes hace difícil emplear modelos resistivos clásicos para predecir la distribución de campos eléctricos en sistemas aislantes basados en aceite bajo cargas de CC. En la década de 1980 los investigadores de ASEA introdujeron una alternativa a los modelos resistivos: el modelo de arrastre de iones [1]. En el modelo de arrastre de iones, las ecuaciones del transporte se utilizan para calcular el comportamiento en función del tiempo de la

El sistema de detección, extremadamente sensible, para medir el esfuerzo eléctrico en el aceite mineral aprovecha directamente el efecto electro-óptico Kerr.

5 Experimento para demostrar la técnica de medición Kerr



Las herramientas, junto con simulaciones asociadas, permitieron desarrollar en muy poco tiempo el prototipo de transformador convertidor de 1.100 kV de CC.

densidad iónica en el líquido aislante ➔ 4. Aplicando la diferencia en la densidad de los iones positivos y negativos se puede calcular el campo eléctrico como una función del tiempo para cada posición del sistema. De lo que figura en ➔ 4 se deduce que la resolución de las ecuaciones tridimensionales para muchos puntos es exigente desde el punto de vista del cálculo. Sin embargo, los ordenadores modernos junto con esquemas numéricos mejorados hacen posible utilizar el modelo de arrastre de iones para diseñar partes críticas del sistema de aislamiento de los transformadores convertidores.

Medición de los campos eléctricos bajo carga de CC en el aceite de transformador

El modelo de arrastre de iones tuvo que verificarse con mediciones experimentales. Por lo tanto, en el laboratorio del Corporate Research de ABB de Vasteras se creó un sistema de detección extremadamente sensible para medir directamente la carga eléctrica en el aceite mineral. La configuración utiliza el efecto electro-óptico Kerr, que influye en la birrefringencia de la luz que atraviesa un dieléctrico líquido en un campo electrostático ➔ 5. Empleando esta técnica, se puede resolver las cuestiones relativas a la dirección, la magnitud y la evolución con el tiempo de los campos eléctricos.

Los resultados de la técnica Kerr se compaginan con las predicciones del modelo de arrastre de iones y se desvían considerablemente de los campos eléctricos previstos por modelos resistivos, como sería de esperar.

La técnica Kerr y el modelo de arrastre de iones -usado por primera vez para el proyecto de Itaipu- se han convertido en herramientas importantes del continuo desarrollo de sistemas de aislamiento para transformadores convertidores. Estas herramientas, junto con las simulaciones asociadas, permitieron el desarrollo en muy poco tiempo del prototipo de transformador convertidor de 1.100 kV de CC. Las herramientas de diseño, junto con un conocimiento profundo de los fenómenos correspondientes, han contribuido considerablemente al liderazgo técnico de ABB en lo que se refiere a transformadores convertidores de HVDC y UHVDC.

Joachim Schiessling
Olof Hjortstam
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
joachim.schiessling@se.abb.com
olof.hjortstam@se.abb.com

Mats Berglund
ABB Power Grids, Transformers
Ludvika, Suecia
mats.g.berglund@se.abb.com

Referencias

[1] U. Gäfvert, et al., “Electrical field distribution in transformer oil,” *IEEE Transactions on Electrical Insulation,* vol. 27, no. 3, p. 647, 1992.

Microrredes

Las microrredes reducen los costes y las emisiones, y aumentan la fiabilidad

TILO BUEHLER, RITWIK MAJUMDER –
¿Vale más maña que fuerza? ¿O se necesitan ambas? En el pasado, las redes eléctricas tradicionales los usuarios finales apenas podían utilizar ninguna de ellas (si podían). Las plantas generadoras y las decisiones de control no se encontraban al alcance de los usuarios, que tenían un control escaso sobre su procedencia o su coste. Actualmente, la generación ha dejado de ser dominio exclusivo de las grandes centrales eléctricas: los paneles solares en tejados y otras formas de generación distribuida están difuminando la distinción entre productores y usuarios. Además, no solo la "maña" está cada vez más disponible para todo el mundo. El aumento de los niveles de inteligencia integrada y los interruptores controlables hacen posible la descentralización de las decisiones de control. Los propietarios de grandes instalaciones, como hospitales o fábricas, tienen actualmente la capacidad de controlar sus propias redes eléctricas y, de esta forma, reducir los costes y las emisiones.

Las redes eléctricas están experimentando una revolución a una escala desconocida desde la primera aparición de la distribución eléctrica. El creciente intercambio de generación local está dando lugar a cambios en la forma en que se gestionan las redes.

No es ninguna novedad que instalaciones como hospitales y fábricas dispongan de algún sistema auxiliar de emergencia, por lo general, en forma de generadores diésel. En los últimos años, la tendencia generalizada ha sido aumentar la capacidad de generación local con la instalación de células fotovoltaicas, en ocasiones acompañadas de un almacenaje de baterías. A diferencia de los generadores de emergencia, que se mantienen principalmente por razones de seguridad del suministro, los propietarios desean que estas inversiones adicionales se utilicen con la mayor profusión y rentabilidad posibles. El resultado es una estrategia de implementación óptima de la capacidad de generación eléctrica, tanto interna como externa.

Las microrredes pueden adoptar numerosas formas, dimensiones y distribuciones geográficas. De hecho, existen varias definiciones formales de microrred → 2, pero todas comparten las siguientes características comunes:
- tienen múltiples fuentes y cargas.
- se distribuyen.
- son controlables y permiten cierta autonomía de control.

La finalidad de una microrred también puede variar de una manera similar. Normalmente, las microrredes se instalan para:

> El aumento de los niveles de inteligencia integrada hace posible la descentralización de las decisiones de control.

- reducir costes.
- reducir la huella medioambiental.
- garantizar la seguridad del suministro.

Las microrredes se pueden conectar a la red (como en los ejemplos mencionados de hospitales y fábricas) o funcionar de manera totalmente independiente, por ejemplo, en una ubicación geográfica-

1 Definición de microrredes

Existen diferentes definiciones de microrredes.
De acuerdo con el Grupo de Intercambio de Microrredes del Departamento de Energía de los EE.UU., una microrred es un grupo de cargas interconectadas y recursos energéticos distribuidos dentro de límites eléctricos claramente definidos que se comporta como una única entidad controlable con relación a la red. Una microrred puede conectarse y desconectarse de la red para permitir que funcione tanto conectada a la red como en modo "isla".

El Grupo de Trabajo CIGRÉ C6.2, Microgrid Evolution Roadmap explica que las microrredes son sistemas de distribución de electricidad que incluyen cargas y recursos energéticos distribuidos (como generadores distribuidos, dispositivos de almacenamiento o cargas controlables), que pueden manejarse de forma controlada y coordinada, tanto si están conectados a la red eléctrica principal como si están puestos a tierra.

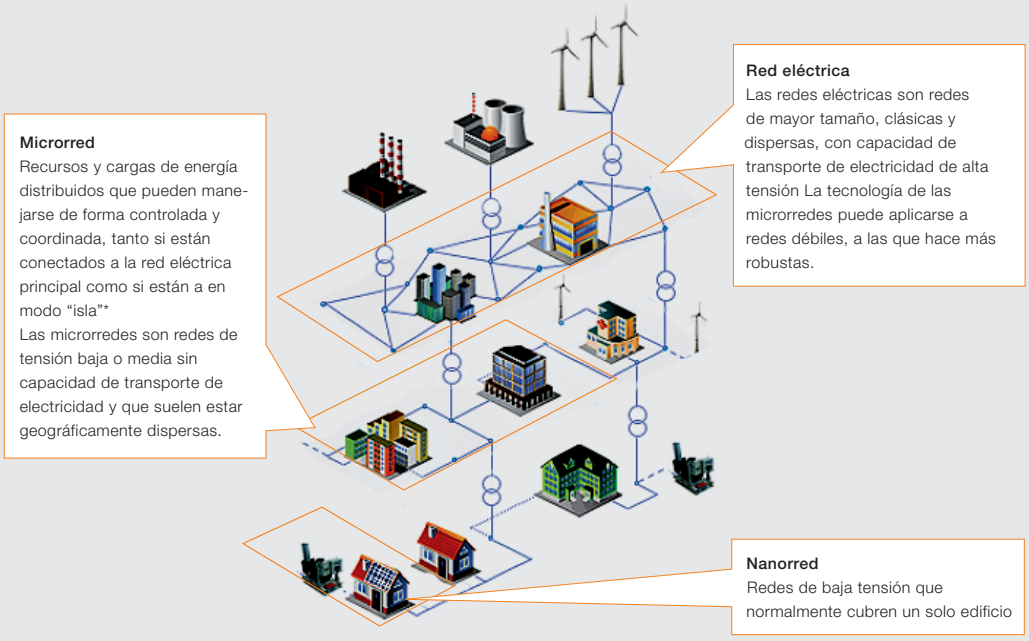
2 Segmentos de microrredes y factores principales que cubren una diversidad de aplicaciones

			Factores principales				
			Sociales	Económicos	Medioambientales	Operativos	
	Segmentos	Clientes típicos	Acceso a la electricidad	Ahorro de combustible y de costes	Reducción de la huella de CO2 y la contaminación	Independencia del combustible	Suministro ininterrumpido
Fuera de red	Compañías suministradoras de la isla	Compañía eléctrica (local), PIE*		✓	✓	✓	(✓)
Red débil	Comunidades remotas	Compañía eléctrica (local), PIE, institución pública de desarrollo, banco de desarrollo	✓	✓		✓	
Conectado a red	Industrial y comercial	Compañía minera, PIE, Compañía de petróleo y gas, Centro de datos, Hoteles y centros turísticos, Alimentación y bebidas			(✓)	✓	✓
	Defensa	Instituciones públicas de defensa		(✓)	(✓)	✓	✓
	Comunidades urbanas	Compañía suministradora (local), PIE			(✓)		✓
	Instituciones y universidades	Instituciones educativas privadas, PIE, Instituciones educativas públicas		(✓)	✓		(✓)

PIE: Productor independiente de electricidad

✓ Factor principal (✓) Factor secundario

3 Una microrred puede considerarse como algo intermedio entre redes eléctricas de gran cobertura y nanorredes muy localizadas.



mente remota → 2. ABB ha participado en la microrred de la isla de Kodiak, frente a la costa de Alaska. La isla, que cuenta con 15.000 habitantes y no dispone de conexión a una red externa, cubre prácticamente todas sus necesidades eléctricas a partir de fuentes renovables. El alcance del suministro de ABB incluye el almacenamiento de energía basado en volante de inercia.

Una manera de definir una microrred es considerarla una versión más pequeña de la red eléctrica. Una microrred se enfrenta prácticamente a los mismos retos que su hermana mayor. Cuenta con diversas fuentes de energía, diferentes usuarios y, en numerosos casos, puede intercambiar energía con otras redes a través de interconexiones. También existen diferencias significativas ocasionadas, por ejemplo, por una inercia baja, una alta penetración de las energías renovables y los efectos de la electrónica de potencia controlada. Un controlador de microrred debe equilibrar los recursos disponibles de una manera segura y económica, además de garantizar la seguridad del suministro → 3.

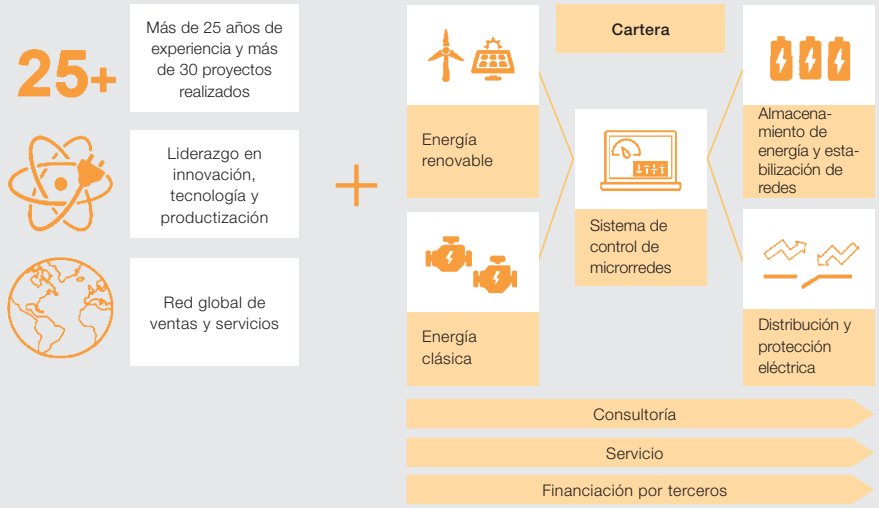
En algunas situaciones, las microrredes se pueden suministrar para atenuar la falta de fiabilidad de una red de suministro. No cabe duda de que en un hospital no se puede interrumpir una intervención

La capacidad de generación local se ha solido aumentar con la instalación de células fotovoltaicas, en ocasiones acompañadas de un almacenaje de baterías.

4 ABB predica con el ejemplo

ABB está instalando una microrred solar-diésel integrada en su centro de Longmeadow, en Johannesburgo (Sudáfrica) Las instalaciones, de 96.000 m², albergan la sede central de la empresa en el país, así como centros para fabricación de aparamenta de media tensión y montaje de paneles de protección. Cuenta con unos 1.000 empleados. El ámbito de suministro incluye un campo fotovoltaico (FV) solar para tejados y un estabilizador de red PowerStoreTM, que ayudará a maximizar el uso de energía solar limpia y asegurar un suministro eléctrico ininterrumpido para mantener encendidas las luces y las fábricas en marcha aun en el caso de un corte en la red de suministro principal.
A los actuales generadores diésel de reserva se añadirá una planta FV de 750 kW y un sistema PowerStore de 1 MVA/380 kWh basado en baterías. Esto potenciará el uso de energía renovable y proporcionará continuidad del suministro cuando este se interrumpa. o durante la transición de la red al funcionamiento en modo “isla”.

5 Con más de veinticinco años de experiencia y más de treinta proyectos de microrredes ejecutados a escala mundial, ABB es el proveedor destacado de productos y soluciones en este ámbito



quirúrgica por falta de iluminación y, en el caso de una planta industrial, una parada no planificada puede dar lugar a una gran pérdida económica. Lo idóneo (si el controlador dispone de las funciones apropiadas) es que una microrred pueda realizar una transición eficiente del modo de conexión a la red al modo “isla”. Se encarga de la generación y el almacenamiento disponibles, además de suministrar cargas cuando se necesitan y evitar que se disparen los dispositivos de protección local. Asimismo, el controlador debe respaldar la reconexión de la red cuando se encuentre disponible.

El historial de ABB incluye más de veinticinco años de experiencia y más de treinta proyectos de microrredes terminados → 4. La empresa es líder en el suministro de productos y soluciones relacionados con la generación de energía: energías renovables, automatización, estabilización de redes, almacenamiento de energía y tecnología de control inteligente, así como servicios de consultoría de habilitación de microrredes a escala mundial → 5. La posición de la empresa en el segmento de las microrredes se reforzó en 2011 con la adquisición de Powercorp.

Los centros de investigación corporativa de ABB se mantienen a la vanguardia de la tecnología avanzada de microrredes a través de la investigación en los ámbitos del almacenamiento, la estabilidad, la protección y la interconexión.

La solución de control Microgrid Plus de ABB se compone del sistema de control Microgrid Plus SystemTM y el sistema estabilizador de redes PowerStoreTM, basado en volante de inercia o baterías, ambos propiedad de la empresa. El controlador calcula la configuración de energía más económica, garantizando un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda, que maximiza la integración de energías renovables y permite una utilización de las mismas de hasta el 100% y un elevado nivel de estabilidad y fiabilidad.

Además de controladores y soluciones de almacenamiento de energía, ABB dispone de un gran número de componentes para microrredes, entre otros: interruptores EMAX2, inversores solares y conectividad de redes, además de servicios de apoyo y consultoría.

Tilo Buehler
ABB Power Grids
Baden-Dättwil, Suiza
tilo.buehler@ch.abb.com

Ritwik Majumder
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia
ritwik.majumder@se.abb.com

Robot bio

La vida y las etapas del robot industrial eléctrico

TOMAS LAGERBERG, JAN JONSON –
A principios de la década de 1970 se inició una nueva era en la automatización industrial con la creación del robot industrial eléctrico en Västerås, Suecia. A continuación se cuenta la historia de los orígenes y la situación actual de los robots industriales, seguida de un análisis del emocionante futuro que tienen y de las promesas que albergan para la humanidad.

La historia del robot industrial se inició en 1954, cuando George Devol patentó el primer robot programable. En 1956, Devol y Joseph Engelberger (apodado posteriormente "padre del robot industrial") crearon la primera empresa de robots (Unimation). El primer robot de Unimation, que se accionaba hidráulicamente, se vendió a General Motors en 1961 y la actividad de Unimation empezó a cobrar interés cuando, en 1964, General Motors le encargó nada menos que 66 robots. El primer robot de Europa se instaló en 1967, en Svenska Metallverken (Upplands Väsby, Suecia).

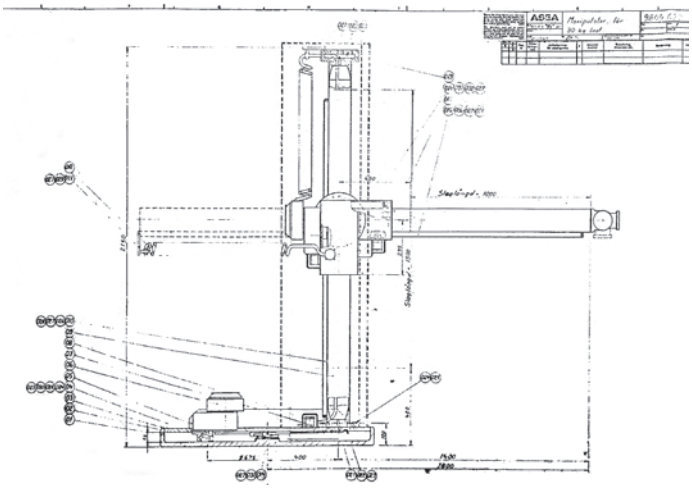
El potencial de los robots no le pasó desapercibido al primer ejecutivo de ASEA, Curt Nicolin, que llegó a la conclusión de que ASEA debería desarrollar su propio robot. Este fue el origen del robot industrial eléctrico. En el verano de 1971, Nicolin encargó a dos de sus mejores ingenieros, Ove Kullborg y Curt Hansson, que estudiaran nuevos enfoques de diseño de robots, dado que los productos de Unimation eran máquinas enormes y ruidosas, que consumían una gran cantidad de energía y desperdiciaban una gran cantidad de aceite debido a las fugas.

Ove Kullborg y Curt Hansson aportaron algunas ideas iniciales. Finalmente, se desarrolló una idea de "manipulador" de cinco ejes (la palabra "robot" apareció por primera vez en dibujos de 1972); disponía de un brazo que se desplazaba vertical y horizontalmente, además de girar alrededor de su base → 1 – 2.

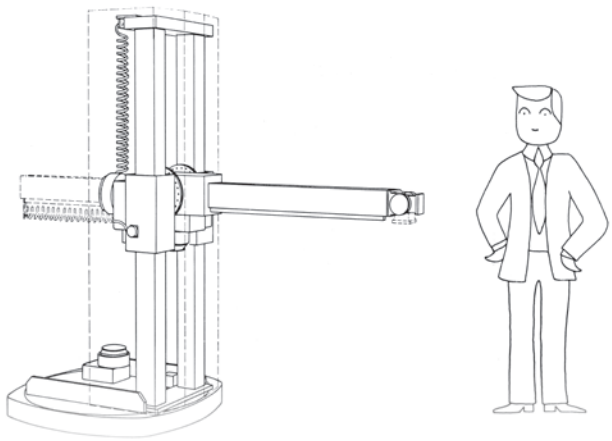
En abril de 1972, el Consejo de administración de ASEA adoptó la decisión de poner en marcha un proyecto de desarrollo de robots a gran escala y se designó como director del mismo a Bjorn Weichbrodt, un prometedor especialista en automatización. Se estableció que se mostraría al Consejo un primer prototipo en febrero de 1973. Desde un principio el proyecto tuvo un alcance integral, abarcando desde el

> El sistema de accionamiento eléctrico desarrollado por el equipo de Ove Kullborg fue el claro vencedor.

1 Concepto inicial de cinco ejes, incluyendo un esquema simple para mostrar proporciones



1a Uno de los primeros planos con el concepto del robot ASEA



1b El robot ASEA original debía tener poco más de 2 m de alto

Actualmente, ABB dispone de una gran familia de robots industriales, y ha suministrado e instalado más de 250.000 unidades.

diseño mecánico y la electrónica al marketing y el desarrollo de aplicaciones. La tarea de desarrollar el diseño mecánico la asumieron los diseñadores principales Ove Kullborg y Bengt Nilsson, responsables cada uno de un equipo de unos 10 ingenieros mecánicos.

Una elección inicial fundamental fue el concepto de accionamiento: ¿hidráulico, neumático o eléctrico? La neumática se descartó por la falta de rigidez en la cadena de accionamientos, que prácticamente imposibilitaba la precisión y la repetibilidad. Los robots hidráulicos predominaron en esa época, en la que escaseaban los accionados eléctricamente. Para decidir el enfoque que debía adoptarse se realizó una competición interna entre dos equipos, liderados por Kullborg y Weichbrodt, respectivamente, que diseñaron y construyeron prototipos de los tres ejes inferiores de un tren de accionamiento, tanto eléctrico cómo hidráulico. Finalmente, se dispusieron para que funcionaran en paralelo. El sistema de accionamiento eléctrico desarrollado por el equipo de Ove Kullborg fue el claro vencedor.

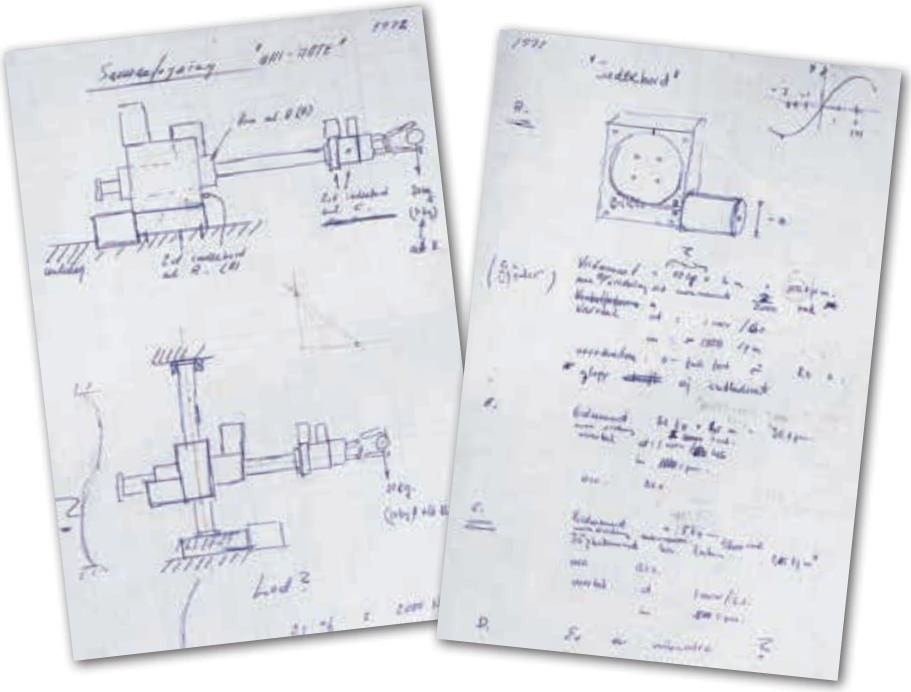
Otra decisión importante fue el diseño básico del robot. Durante su estancia en Estados Unidos, Weichbrodt había visto prototipos de robots antropomórficos, es decir, robots que imitan el patrón de movimientos del brazo humano. Pensó que este sería el camino adecuado para el siguiente robot de ASEA.

La tercera decisión clave relativa al diseño tenía que ver con la electrónica y la programabilidad del robot. Desde un principio, se tuvo claro que la electrónica convencional facilitaba una flexibilidad, una precisión y una estabilidad adecuadas. Sin embargo, un miembro del equipo había leído una noticia sobre un nuevo dispositivo denominado microprocesador 8008, que había desarrollado Intel, una desconocida empresa estadounidense. Era pequeño y se podía integrar en la electrónica de control con el fin de facilitar una programabilidad completa del dispositivo controlado. El manual que el equipo solicitó y recibió de Intel estaba escrito a máquina, con correcciones a mano, y eran fotocopias de fotocopias de fotocopias, por lo que su lectura resultaba complicada. No obstante, el equipo entendió lo suficiente para darse cuenta de que el 8008 era exactamente lo que necesitaban.

Las placas de los prototipos se cablearon con la electrónica, pero no se disponía de microprocesadores, por lo que no se podían someter a ensayo el diseño ni el código. Finalmente, Weichbrodt tuvo que viajar hasta Intel, en California, para recoger dos microprocesadores. El diseño resultante fue un sistema de control electrónico de última generación, que incluía una consola de programación básica y una interfaz de usuario.

En aquel momento se habían adoptado tres decisiones de diseño básicas: el robot de ASEA debía ser eléctrico,

2 Primeros croquis del diseño



antropomórfico y controlado mediante microprocesador, unas características que, en la actualidad, se dan por hecho.

El IRB 6, como se denomina actualmente (Industrial RoBot/6 kg de carga útil), despertó un gran interés en su presentación pública en octubre de 1973, cuando demostró la manera de seleccionar bloques de válvulas y colocarlos siguiendo un patrón. El potencial del IRB 6 lo detectó Magnussons i Genarp, un pequeño taller en el sur de Suecia que, el día de Nochevieja de 1973, realizó el primer pedido de un robot. Posteriormente, en 1974, Magnussons realizaría un pedido de otros cuatro IRB 6 y, en la actualidad, después de más de cuarenta años, cuatro de los robots siguen realizando la misma tarea: pulir tubos de acero inoxidable. ABB adquirió el primer IRB 6 hace algunos años para su exhibición como pieza de museo.

Como ocurre con todos los productos nuevos y revolucionarios, se tardó un tiempo en conseguir un gran volumen pero, en 1978, las ventas ya eran lo suficientemente importantes como para que el negocio de los robots generase un flujo de caja positivo para ASEA.

Demos ahora un salto en el tiempo y situémonos en 2014, en la celebración en ABB del Día del Mercado de Capitales, en Londres. Aparte de las cifras financieras y las presentaciones estratégicas habituales, también se dio a conocer al mundo por primera vez un nuevo miembro de la familia de robots de ABB: YuMi®. YuMi se presentó como el primer robot del mundo que verdaderamente colaboraba con los seres humanos, puesto que había sido diseñado para ello, y de ahí su nombre: YuMi representa “you and me” en inglés (en español, “tú y yo”).

La motivación para crear el YuMi tuvo lugar en 2006, cuando se identificó la necesidad de disponer de un robot que se pudiera utilizar, por ejemplo, en el montaje de pequeñas piezas de teléfonos móviles en plantas de electrónica de China. Las plantas de montaje en aquel momento eran prácticamente manuales en su totalidad, con miles de trabajadores de esta sección situados en hilera. Estaba claro que el robot debería ser capaz de trabajar al lado de los humanos y tendría que caber en el espacio que ocupa una persona. Esta idea, tal como la representó un ilustrador profesional → 3, sirvió de inspiración al equipo en todo el proyecto.

La tercera decisión clave relativa al diseño tenía que ver con la electrónica y la programabilidad del robot.

3 La idea del proyecto YuMi

4 YuMi: El primer robot del mundo verdaderamente colaborativo

El IRB 6 despertó un gran interés en su presentación pública en octubre de 1973.

Los elementos de seguridad del robot eran fundamentales. Incluían dos brazos (para la reducción de velocidad), un acolchado blando en los brazos, zonas no rígidas en las articulaciones, una carga útil limitada, y una velocidad y un par limitados del motor. Camilla Kullborg, una diseñadora mecánica del proyecto, se dio cuenta de que no era suficiente que el robot fuera seguro, sino que además debía tener un aspecto de seguridad, y a partir de esta idea surgió el diseño inicial que finalmente conduciría al YuMi actual ➔ 4. En 2011, Camilla Kullborg y el equipo de desarrollo de YuMi fueron galardonados con el prestigioso premio de diseño industrial "red dot: best of the best".

YuMi recibió una extraordinaria acogida y, cuando el producto se puso a la venta en la Feria de Hannover de 2015, fue la estrella del salón. No es exagerado afirmar que YuMi marcó el nacimiento de una nueva era en la robótica: la era de los robots verdaderamente colaborativos.

Actualmente, ABB dispone de una gran familia de robots industriales y ha suministrado e instalado más de 250.000 unidades, incluido un gran número de primicias de robótica mundiales: el primer robot de soldadura de arco, el primer robot de pintura eléctrico, la primera consola de programación con joystick, el primer sistema de accionamiento de CA en robots, la primera tecnología de robot virtual, el primer lenguaje de programación de robots de alto nivel y la primera familia de robots modulares. Y todo ello a partir de un humilde comienzo en 1972 con Bjorn Weichbrodt, el "padre del robot eléctrico", y su primer robot.

Se prevé que el mercado de los robots industriales crezca con rapidez en los próximos años. Es probable que aparezcan nuevos tipos de robots completamente nuevos: robots voladores, robots nadadores, robots caminantes, robots rodantes, micro-robots, robots instalados en vehículos, robots que aumenten la fuerza humana y robots que ayuden a las personas y colaboren con ellas, quizá incluso en el espacio exterior.

Agnes Kullborg, de nueve años, hija de Camilla Kullborg y nieta de Ove Kullborg, lo destacó acertadamente cuando le preguntaron sobre el futuro de los robots: "Los robots son realmente geniales y ayudan a la gente. Creo que en el futuro ayudarán todavía más a las personas. Me gustaría trabajar con robots. Tal vez en el diseño de su aspecto, tal vez en algo parecido a un futuro YuMi, porque la verdad es que tiene un aspecto muy agradable". Agnes, que representa a la tercera generación de esta familia Kullborg dedicada a los robots, lleva toda la razón del mundo.

Tomas Lagerberg
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia
tomas.lagerberg@se.abb.com

Jan Jonson
Former ABB employee
ABB Discrete Automation and Motion, Robotics
Västerås, Suecia

Una historia emocionante

La innovación sostenida resume la historia de los productos electromagnéticos de ABB

REBEI BEL FDHILA, ULF SAND, JAN ERIK ERIKSSON, HONGLIANG YANG – La evolución de los productos electromagnéticos de ABB en la industria de los metales ha sido extensa e impresionante, repleta de patentes, mentes pioneras, personalidades respetadas, contribuciones importantes a la industria e innovaciones líderes en el mercado. Con la introducción temprana en la industria de los metales, ABB ha captado las oportunidades que se le presentaban para establecer con los clientes una colaboración productiva que ha consolidado su posición como empresa líder e innovadora en la industria. Este preciado legado sirve de plataforma para perseguir una excelencia permanente en el sector de los metales y la posible entrada en nuevos mercados.

El batidor electromagnético lo inventó a principios de la década de 1930 el Dr. Ludwig Dreyfus, un reconocido empleado de ASEA, cuando descubrió que se podría desarrollar una fuerza electrodinámica suficiente en el metal fundido mediante un campo magnético móvil, y que se podría lograr una acción de batido eficaz. Su patente de batido electromagnético en un horno de arco eléctrico se le concedió en Suecia en 1937, lo que se puede considerar el nacimiento del batido electromagnético y la base del resto de sus aplicaciones en la industria de los metales → 1.

Instalación del primer batidor

El primer batidor electromagnético de uso práctico se instaló en Suecia en 1947 en un horno de arco eléctrico (EAF), que en aquella época se utilizaba como cuba tanto de fundido como de afino. El batidor homogeniza la temperatura de fundido y acelera las reacciones de escoria metálica. Desde entonces se han instalado millares de batidores electromagnéticos en diversas aplicaciones de procesamiento de metales: horno de arco eléctrico, horno de cuchara y colada continua de refundido de acero y aluminio.

El primer horno de cuchara del mundo

En la década de 1960, los ingenieros de SKF y ASEA desarrollaron el primer horno de cuchara del mundo, el ASEA-SKF, para solucionar el problema de la baja calidad en la producción de acero para cojinetes en un horno de arco eléctrico. El proceso de ASEA-SKF, con su combinación de capacidades de batido electromagnético, tratamiento de vacío, calentamiento por arco eléctrico e inyección de gas argón, fue el comienzo de una nueva era en la producción de acero de alta calidad. El primer horno de cuchara de ASEA-SKF se empezó a fabricar a gran escala en 1968 en SKF Hällefors, Suecia, y se instalaron unos 70 hornos de ASEA-SKF entre las décadas de 1960 y 1980 en todo el mundo. Si bien el ASEA-SKF se sustituyó posteriormente por procesos de afino en cuchara más modernos, el batido electromagnético en cuchara (LF-EMS) continuó siendo una herramienta importante para la producción eficiente de acero tanto comercial como de alta aleación [1] → 2. Actualmente existen alrededor de 140 batidores electromagnéticos instalados en varios procesos de afino en cuchara.

> Actualmente, más de la mitad de las 70 máquinas de colada de planchas finas del mundo están equipadas con un EMBR de ABB.

Freno electromagnético

La implementación del batido electromagnético en máquinas de colada de lupias/palanquillas se inició en la década de 1970 para mejorar la calidad de las estructuras y superficies sólidas. En la década de 1980, ASEA y Kawasaki Steel aplicaron un campo electromagnético al proceso de colada de planchas convencionales para mejorar su calidad. Este campo magnético de CC, que actuaba sobre el caudal de chorro de alto impulso procedente de la boquilla de entrada sumergida, reducía la velocidad del chorro y estabilizaba la fluctuación del fluido en el molde → 3. La tecnología, desarrollada y convertida en un freno electromagnético (EMBR), encontró una aplicación más amplia en el proceso de colada de planchas finas. El EMBR estabiliza las fluctuaciones del menisco y reduce el atrapamiento de polvo en el molde, que es esencial en la operación de colada de alta velocidad y garantiza una calidad de

1 Primera patente de batido electromagnético en EAF, de Dreyfus

PATENT Nº 102 334 SVERIGE KLASS 21: h: 18—10

BESKRIVNING OFFENTLIGGJORD AV KUNGL. PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET

BEVILJAT DEN 19 JUNI 1941
GILTIGT FRÅN DEN 22 JAN. 1937
PUBLICERAT DEN 19 AUGUSTI 1941

Ans. nr 281/1937. *Härtill en ritning.*

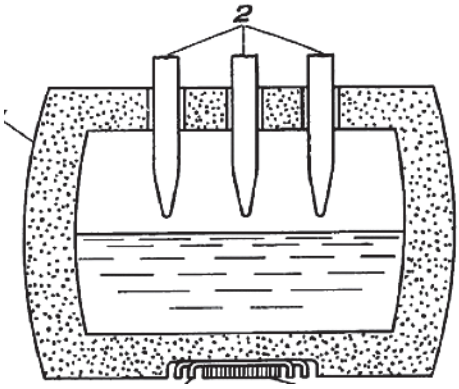
ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AKTIEBOLAGET, VÄSTERÅS.

Omröringsanordning vid ugnar för metallurgiska ändamål.

(Uppfinnare: L. Dreyfus.)

Det är bekant att vid s. k. virvelströmsugnar, d. v. s. ugnar vid vilka den huvudsakliga värmetillförseln till chargen sker genom i densamma inducerade elektriska virvelströmmar, vanligen av hög frekvens, åstadkomma en elektrodynamisk omröring av chargen eller badet i syfte att påskynda däri förlöpande reaktioner. I de ändamålsenligaste formerna av dy-

i huvudsak kring en horisontal axel, så att nya delar av detsamma oupphörligt komma upp till ytan samt där utsättas för uppvärmning resp. reaktioner. Samtidigt hålles periodtalet av strömmen i omröringslindningen väsentligt lägre än lägsta kommersiella periodtal, varigenom effekten i nämnda lindning hålles låg. Någon nämnvärd uppvärmning genom sagda lindning



El FC Mold G3 es el equipo de control de caudal más avanzado del mercado para coladas de planchas.

plancha fina. Actualmente, más de la mitad de las 70 máquinas de colada de planchas finas del mundo están equipadas con un EMBR de ABB.

Molde de control de caudal

En la década de 1990, Kawasaki Steel (posteriormente, JFE) y ABB desarrollaron un molde de control de caudal (FC Mold) para máquinas de colada de planchas convencionales. El FC Mold, al mantener el campo magnético de CC en la parte inferior del molde, añade un campo de nivel de CC en la zona superior del molde con el fin de estabilizar la fluctuación del menisco, lo que aumenta la flexibilidad del control de las condiciones de caudal. Kawasaki Steel logró unos resultados superiores con el FC Mold, incluida una mayor velocidad de colada y una mejora de la calidad interna y superficial de las planchas. Actualmente, más de 70 sectores utilizan la excepcional tecnología del FC Mold para coladas de planchas convencionales.

Molde de control de caudal G3

En la década de 2000, ABB desarrolló el molde de caudal de tercera generación (FC Mold G3) para hacer frente a las nuevas demandas del mercado de máquinas de colada de planchas convencionales. El FC Mold G3 añade un campo magnético móvil en la misma posición del campo magnético superior de CC que el FC Mold II, que puede funcionar simultáneamente con el campo magnético de CA, que controla la velocidad del menisco en el rango óptimo en prácticamente todas las condiciones de colada → 4. El FC Mold G3 es el equipo de control de caudal más avanzado del mercado para coladas de planchas. En 2016, ABB presentará el OptiMold Monitor, un producto que mide la temperatura del molde en colada continua. Al facilitar una visión del proceso sin precedentes, esta tecnología se puede combinar con el FC Mold, con el fin de permitir un control de procesos en tiempo real, elevando a un nivel superior la calidad del producto final.

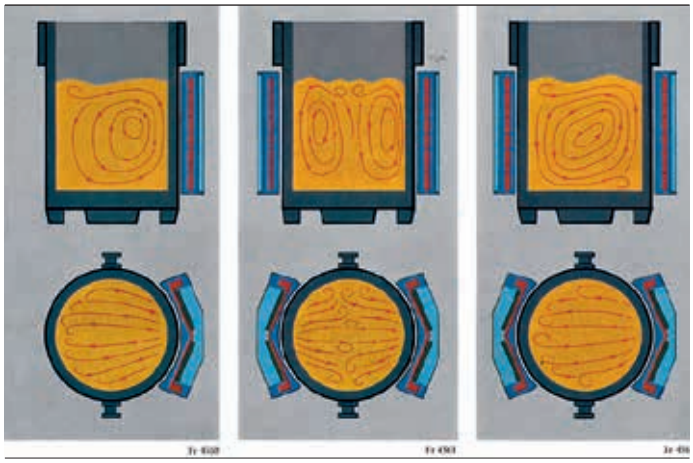
Hornos de refundido del aluminio

En la década de 1960, ASEA desarrolló un batidor electromagnético para hornos de refundido del aluminio (AL-EMS), que mostró unos resultados convincentes en el ahorro de energía, así como en el aumento del rendimiento y la productividad. Sin embargo, no se le prestó un gran interés hasta la década de 1990, cuando la industria del aluminio asumió la necesidad de ahorrar energía e incrementar la productividad. A continuación, ABB presentó una serie de AL-EMS para toda la gama de tamaños y tipos de hornos → 5. En el caso de los hornos de refundido de aluminio convencionales, el AL-EMS ofrece un ahorro energético del 10% y aumenta la productividad en un 25%. En la actualidad, ABB ha instalado más de 200 AL-EMS en todo el mundo.

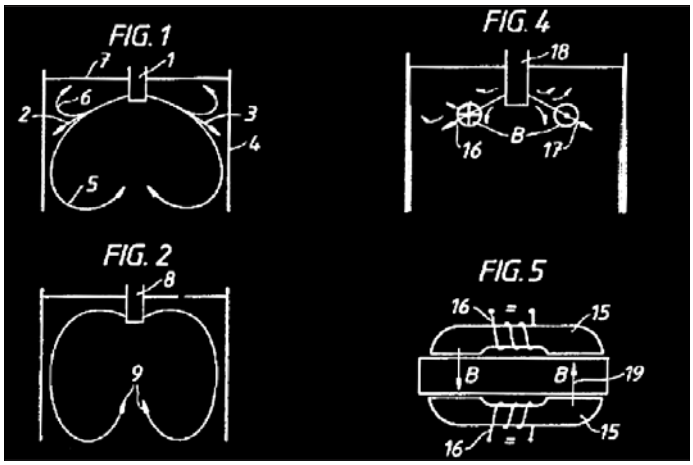
ArcSave®

A partir de la década de 1980, el horno de arco eléctrico se ha ido convirtiendo gradualmente en una mera cuba de fundido con un elevado consumo de energía y un tiempo de fusión breve. A principios de la década de 2000, ABB

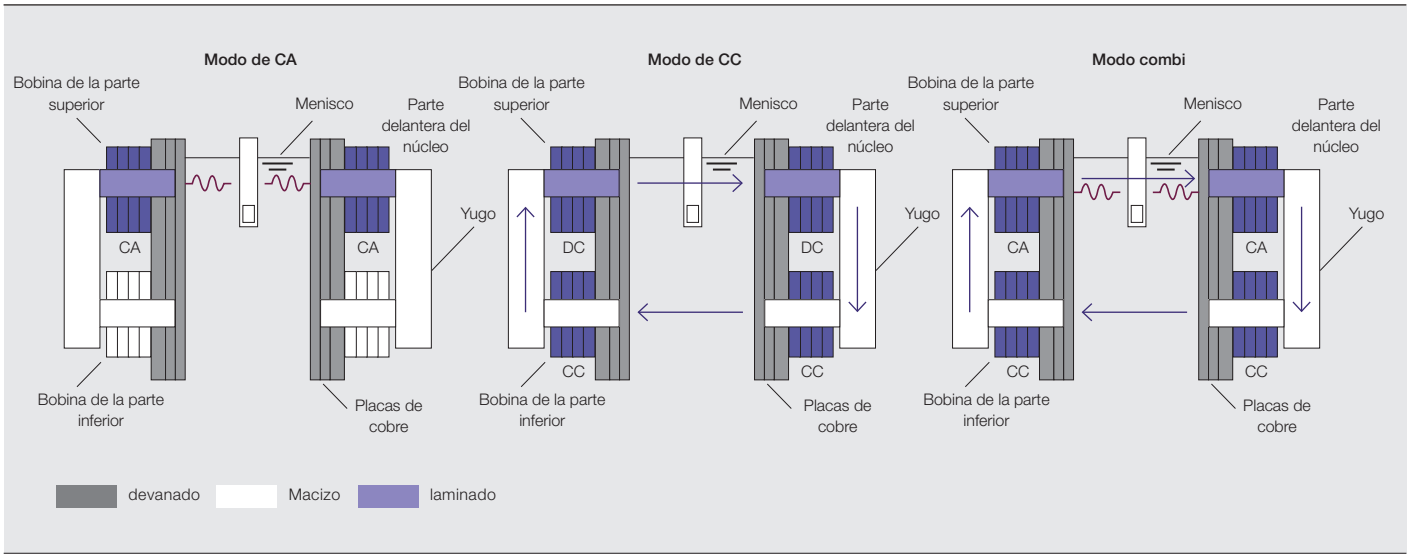
2 Distintos patrones de batido bosquejados en la fase inicial del proceso ASEA-SKF



3 Primera patente de EMBR en colada continua



4 Modos de operación de FC Mold G3



Una colaboración más intensa con ABB Corporate Research en las últimas dos décadas [...] ha dado lugar a mediciones avanzadas y técnicas de simulación …

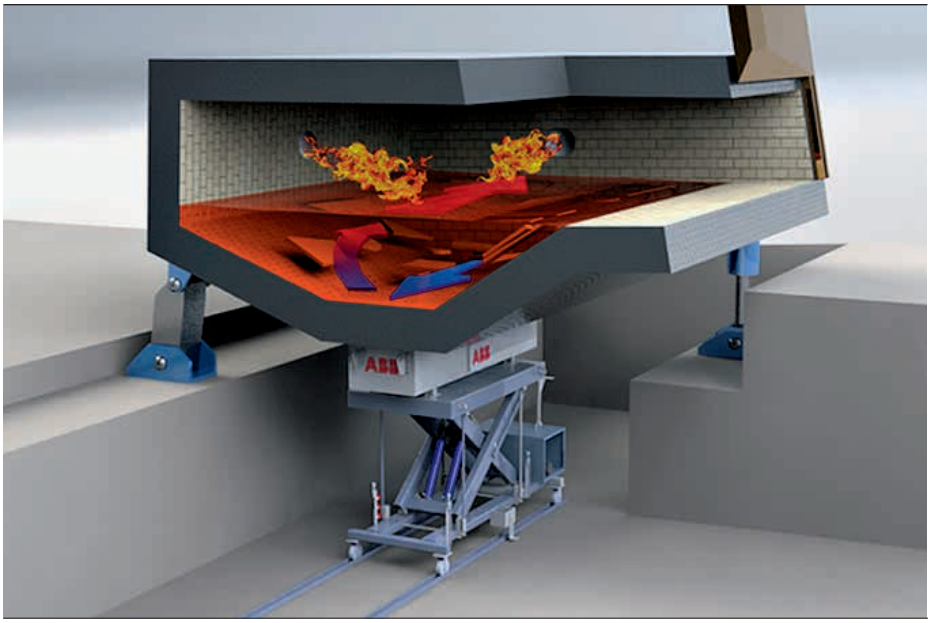
desarrolló un nuevo batidor con una capacidad de batido mucho mayor. Posteriormente, este batidor se patentó como ArcSave® y se instaló en un EAF moderno, demostrando unas claras ventajas para el cliente en cuanto a ahorro energético, rendimiento del hierro y ahorro de aleaciones, entre otras.

Pioneros de la industria e innovación continua

Además de la invención del batidor electromagnético de arco por parte del Dr. Dreyfus, varios empleados de ABB han sido verdaderos innovadores en la industria. Entre ellos, destacan:

– Yngve Sundberg, empleado en las décadas de 1950–1980, desarrolló una teoría completa que abarcaba el cálculo y el diseño de hornos eléctricos y batidores electromagnéticos. Él y sus colegas de ASEA registraron seis patentes como mínimo, y su trabajo sobre “Hornos eléctricos y batidores inductivos” se cita con frecuencia en el sector incluso hoy en día [2].

5 AL-EMS instalado en la parte inferior del horno de refundido de aluminio



– El excepcional enfoque de Sten Kollberg en cuestiones relacionadas con el proceso de colada de los clientes en las décadas de 1980–1990 abrió el camino para el desarrollo del EMBR y el FC Mold. Kollberg goza de un gran respeto por su don de gentes y su ingenio.
– Gote Tallback, que trabajaba en ASEA en la misma época que Sten, introdujo la magnetohidrodinámica (MHD) en los procesos metalúrgicos. Su trabajo, publicado hace 30 años, sobre la simulación numérica del proceso EMBR, se sigue citando en la actualidad. En la década de 2000, él y sus colegas de ASEA registraron cuatro patentes relativas al batido electromagnético.
– Jan-Erik Eriksson, que trabaja en ABB desde 1980, cuenta con 25 patentes, junto con sus colegas de ABB. Su aportación ha sido decisiva en el desarrollo en curso del FC Mold (en concreto, el de última generación), y del EMBR en conjunto, con socios de la industria japonesa.
– Rebei Bel Fdhila, que se incorporó a ABB Corporate Research en 1995, aplica sus profundos conocimientos sobre modelado, acompañados de la experiencia en procesos de sus colegas, para ayudar a ABB a remodelar sus capacidades de modelado, simulación y diseño, con el fin de ofrecer importantes novedades en la tecnología de batido electromagnético y consolidar su posición en el mercado.

Una colaboración más intensa con ABB Corporate Research en las últimas dos décadas, reforzada por las aportaciones de Rebei Bel Fdhila y Jan-Erik Eriksson, ha dado lugar a mediciones y técnicas de simulación avanzadas, que incluyen varios tipos de mediciones basadas en láser y una dinámica de fluidos computacional de vanguardia. El conocimiento fundamental y profundo de la metalurgia, la colada continua, el efecto del campo electromagnético y los fenómenos complejos subyacentes asociados a los caudales multifásicos en los que interactúan el metal líquido, el gas argón y las partículas, ha permitido al equipo de I+D de ABB mejorar y modernizar la tecnología del EMS con nuevas prestaciones para la introducción en nuevos mercados.

Demandas de desarrollo y fuerza impulsora

La eficiencia energética, la productividad y la calidad son fundamentales para el desarrollo sostenible de la industria de los metales, y el batido y el frenado electromagnéticos tienen un papel importante que desempeñar de cara al futuro. Los productos como el ArcSave®, la nueva generación del FC Mold y el Opti-Mold Monitor son tan solo algunos ejemplos de la contribución de ABB y demuestran la capacidad de la empresa para comprender y hacer frente a la demanda del mercado con innovaciones tecnológicas. A medida que el Internet de los objetos, los servicios y las personas (IoTSP) eleve las expectativas en la industria de los metales en los próximos años, ABB se centrará en el desarrollo de productos que no solo ofrezcan un mayor grado de seguridad y fiabilidad, eficiencia de costes y calidad, sino que además sean fáciles de usar, puedan medir y analizar, y mejoren el rendimiento de los procesos para nuestros clientes. ABB ha tenido el privilegio de trabajar con prácticamente todos los principales fabricantes de acero del mundo y se compromete a permanecer a la cabeza de la innovación de productos electromagnéticos en la industria de los metales.

Rebei Bel Fdhila
Ulf Sand
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia
rebei.bel_fdhila@se.abb.com
ulf.sand@se.abb.com

Jan Erik Eriksson
Hongliang Yang
ABB Process Automation, Metallurgy
Västerås, Suecia
hongliang.yang@se.abb.com
jan-erik.a.eriksson@se.abb.com

Referencias

[1] Sundberg, Y. (1971). *Principles of the induction stirrer. ASEA Journal,* 44 (4), 71–80.
[2] Sundberg, Y. (1969). *Electric furnaces and induction stirrers.* Västerås: ASEA.

El sentido del mineral

Mining 2.0 – Soluciones de automatización para la industria de la minería

JAN NYQVIST – Lo que no se ve puede no existir para algunos, pero no para los que tienen intereses en la minería, y eso incluye a ABB. Mining 2.0 consiste en el desarrollo de soluciones de automatización para la industria minera. El sector destinatario es el de la minería subterránea y el concepto incluye algunas soluciones únicas para el mercado. Mining 2.0 se dirige a una industria en transformación, con soluciones para la cadena de valor completa y con la visión de crear una "fábrica de mineral" → 1. La idea básica era introducir métodos de control de procesos en operaciones de minería discretas. Aunque era un método nuevo para el mercado en sus inicios, actualmente la comunidad minera busca e impulsa activamente soluciones de automatización de ese tipo.

La minería, como productora de materias primas para nuestro bienestar, es una industria importante para el desarrollo mundial. El sector es mundial y suele ser un ámbito comercial estratégico para las regiones en las que está activo. Hay alrededor de 10.000 minas subterráneas, y la atención primaria de ABB se centra en el mercado de los metales, que incluye productos básicos como el hierro, el cobre, el níquel, el oro, la plata, el zinc y el plomo.

La comunidad minera

La industria de la minería se enfrenta en la actualidad a caídas espectaculares de los precios de los productos básicos, y muchos proyectos nuevos o recientemente iniciados se han visto aplazados o cerrados. Normalmente, las caídas de precios han sido del orden del 30–50%, y aún mayores en el caso del hierro. La industria experimenta un elevado crecimiento en países emergentes y, al mismo tiempo, se están realizando nuevas exploraciones en lugares más remotos, así como explorando el subsuelo o niveles más profundos con un contenido de mineral hasta un 50% menor en el caso de algunos productos básicos. En consecuencia, producir el mismo valor exige extraer mucho más mineral de emplazamientos cada vez más difíciles.

Las prioridades del sector minero son las siguientes:

- Seguridad.
- Producción eficiente.
- Impacto ambiental.
- Captación y conservación de la mano de obra.

Las características típicas del trabajo minero son:

- Entorno duro y zonas de alto riesgo.
- Distancias largas y espacios limitados.
- Alto grado de actividades no planificadas.
- Intervención de gran número de personas y máquinas móviles.
- La utilización de máquinas móviles puede de tan solo el 20-25%.
- La utilización de minas a cielo abierto puede ser de tan solo el 20-30%.
- Visibilidad limitada de los trabajos en curso en tiempo real.

La minería y ABB

ABB dispone de una cartera de soluciones para actividades comerciales sostenibles a largo plazo en el mercado mundial de la minería. La cartera va destinada al crecimiento, mediante tecnología y estudio de las necesidades del mercado. Mining 2.0 fue el punto de partida para desarrollar la actividad de ABB dedicada a la automatización de minas.

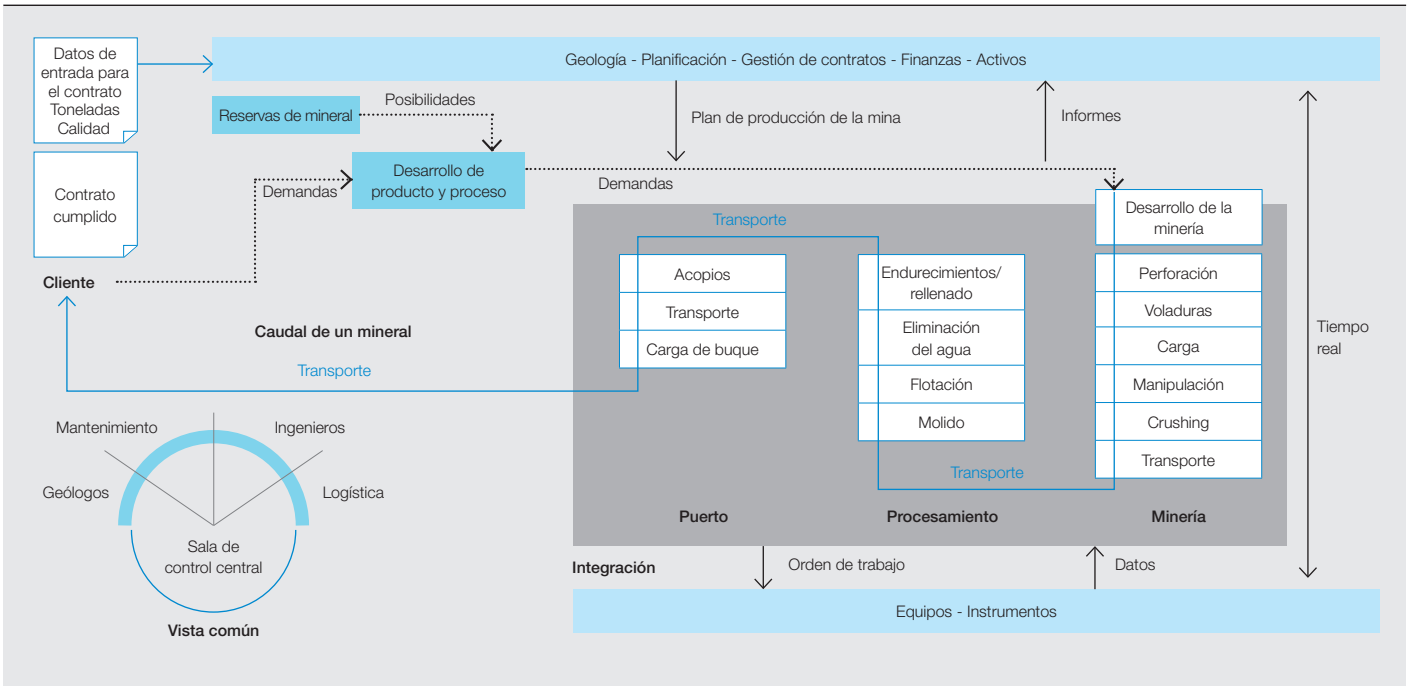
El concepto incluye algunas soluciones únicas para el mercado, como afirmó un representante de AngloAmerican: "*No hemos visto nada igual. Tienen ustedes algo único en su concepto*", y también Río Tinto: "*Si hubiésemos dispuesto de esta solución, habríamos aumentado nuestra producción de un 10% a un 20%*"

> Producir el mismo valor exige extraer mucho más mineral de emplazamientos cada vez más difíciles.

Las tecnologías de Mining 2.0 han derivado en el desarrollo de varios conceptos de productos, como MineInsight, la ventilación Smart e Integrated Mining Operations (IMO). Parte de los conceptos se han introducido en el mercado y otros están en fase de desarrollo.

Mining 2.0 es producto de una colaboración abierta y compartida entre la unidad comercial de minería y Corporate Research (CR), dentro de ABB, aunque

1 Fábrica de mineral como vista inicial



“No podemos continuar construyendo máquinas cada vez más grandes; tenemos que pensar en una nueva forma de hacer las cosas”.

también de la interacción con clientes, otros proveedores, proyectos financiados por instituciones académicas y públicas, así como proyectos de la Comisión europea: I2Mine, el programa Sustainable Mine and Innovation for the Future (SMIFU) [Minas sostenibles e innovación para el futuro], de Rock Tech Centre.

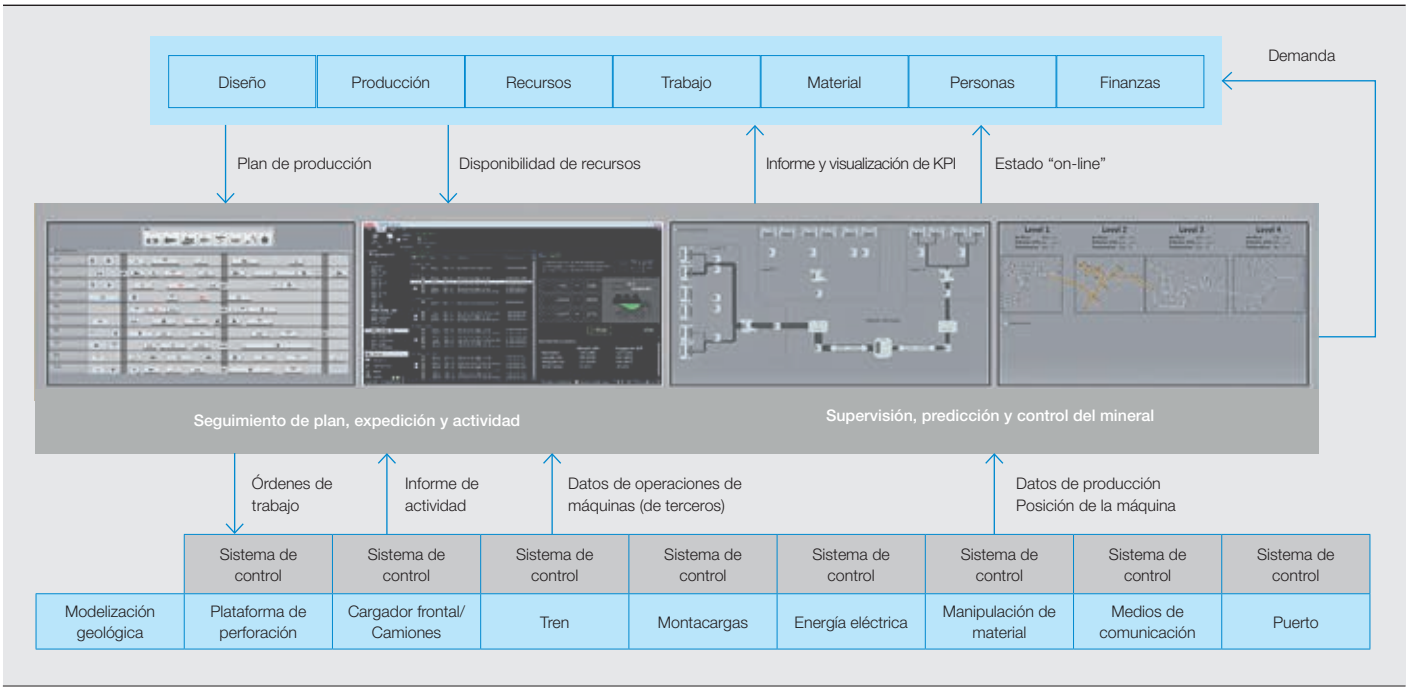
Dificultades a las que se debe hacer frente

Un desafío para el proyecto en los primeros años fue el de comprender claramente y comunicar los problemas y las eventuales soluciones. La industria de la minería entendió que tenía problemas y nuevos desafíos, pero no les resultó fácil expresar sus conclusiones; por otro lado, ABB como proveedor veía difícil presentar soluciones de una forma de fácil de comprender.

Hasta hoy la atención se ha puesto en aumentar la productividad y la capacidad de la maquinaria para construir máquinas más grandes y más eficientes mecánicamente, pero esa solución está llegando a su límite. Como sostiene Garvin Yates, de BHP Billiton: “No podemos continuar construyendo máquinas cada vez más grandes, tenemos que pensar en una nueva forma de abordar la minería”. A lo largo del tiempo se han definido las áreas de interés como sigue ➔ 1 – 2 :

- *Nuevos métodos de trabajo* en la minería: pasar a una minería más continua.
- *Máquinas autónomas:* destinar más tiempo a la producción. Se pierde mucho tiempo en actividades no productivas, como cambios de turno, pausas y ventilación de la mina tras las voladuras.
- *Mantenimiento de las máquinas:* un mayor mantenimiento preventivo de las máquinas ofrece la posibilidad de mejorar su utilización y reducir paradas no programadas en la mina.
- *Control a distancia y centralizado:* un control centralizado con un operario que supervise todas las actividades programadas para una coordinación eficiente, y adopción de medidas en tiempo real en relación con las perturbaciones. Hacerlo a distancia supone que puede haber menos gente in situ y que se pueden dirigir varias minas desde el mismo centro de control. Una mina grande puede tener varios cientos de máquinas en funcionamiento y en cada turno se producen varios miles de eventos.
- *Transporte eficiente del mineral:* un procedimiento de transporte estable que evite perturbaciones cuando se vacían los silos de mineral; carga eficiente de camiones, trenes y montacargas de mina. Funcionamien-

2 Fábrica de material como una operación



to eficiente de las máquinas y que sólo funcionen hasta su límite cuando sea realmente necesario ➔ 3.

Tecnología y métodos

Las iniciativas de Mining 2.0 han incluido varias áreas de investigación en CR, como: comunicación, experiencia del usuario, software, sensores y control. La visión ha sido la base de las iniciativas, que están orientadas al usuario. Se han llevado a cabo varias demostraciones para presentar y probar situaciones e ideas. En la medida de lo posible se han evaluado soluciones mediante pruebas realizadas in situ.

Las tecnologías utilizadas y desarrolladas en Mining 2.0 han sido las siguientes:

– *Estudios de campo:* un estudio de campo consiste en un equipo de entre 2 y 4 personas que visitan una mina para observar y realizar entrevistas a fin de reunir información y flujo de trabajo. Esto crea la base para posteriores avances:
– *Modelos de dominio y arquitectos,* como referencia. Descripción de trabajos de minería actuales y futuros.
– *Personas y situaciones:* descripción de las personas que intervienen y un diagrama de flujos de trabajo para desarrollar soluciones de automatización centradas en el usuario.
– *Visualización:* se han desarrollado diferentes conceptos para diferentes soluciones y situaciones ➔ 4.

> En minas subterráneas, la tecnología es un factor propiciador fundamental. Las comunicaciones inalámbricas en el conjunto de la mina permiten la conexión en tiempo real con las máquinas móviles.

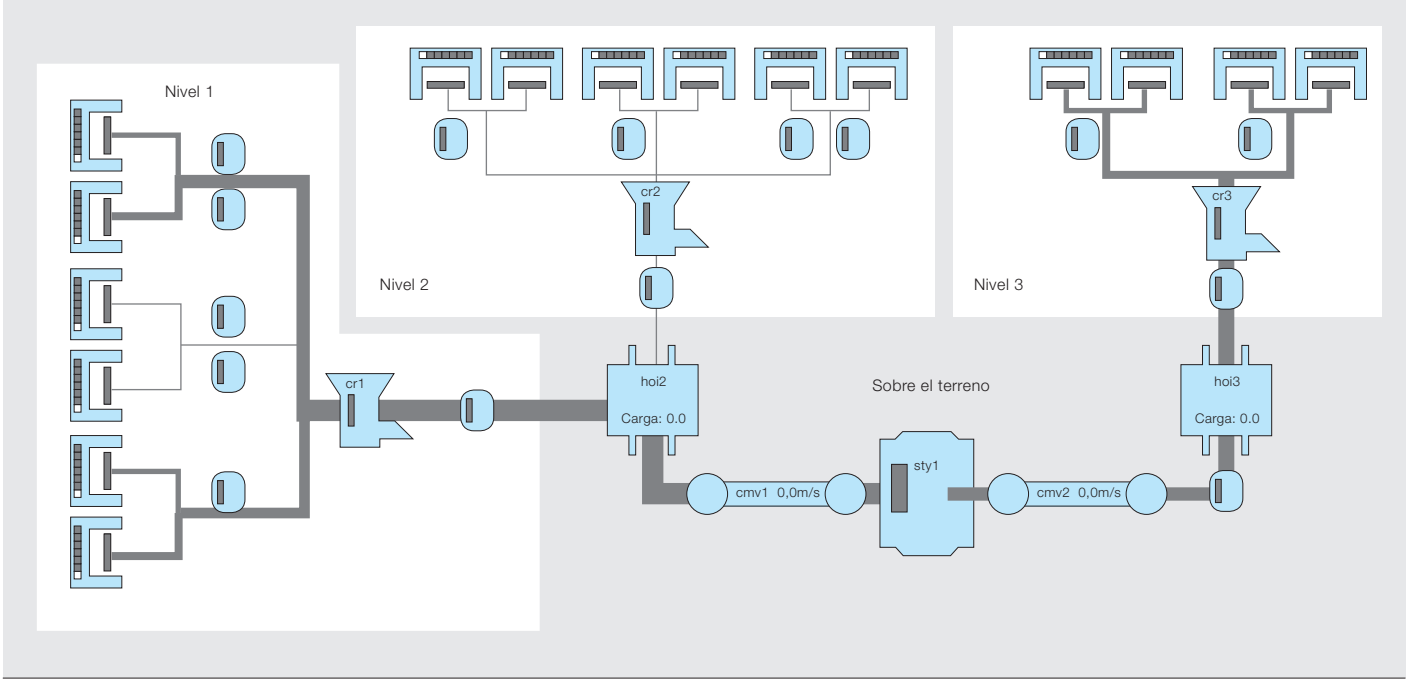
– *Comunicación inalámbrica:* se ha probado para comprender las limitaciones y cómo instalarla en una mina subterránea. Se ha utilizado también para probar una localización existente ➔ 5 basándose en tecnologías de comunicación inalámbrica.
– *Métodos de control:* han sido un componente fundamental en la ventilación de minas, el control de aguas, la optimización de la programación y el control y seguimiento del material.
– *Optimización y métodos estadísticos:* para optimizar la estrategia de mantenimiento basada en la criticidad.

Soluciones y productos

La visión de una "fábrica de mineral" consistía en introducir el control de procesos en un proceso discreto como es la minería. Componentes fundamentales han sido la integración vertical y horizontal, el control centralizado, los datos de una sola fuente y el acceso en tiempo real a los datos de las máquinas. La pieza que faltaba era la integración de máquinas móviles conseguida a través de la instalación de una red de comunicaciones inalámbrica. Las soluciones que se han desarrollado han sido las siguientes:

– *Optimización de la estrategia de mantenimiento:* la herramienta de optimización CRIticality-analysis-based Maintenance (CRIM), es decir, mantenimiento basado en el análisis de criticidad, resuelve el problema del cliente de encontrar una mezcla óptima de estrategias de mantenimiento predictivas, preventivas y correctivas para sus plantas.
El proceso y las herramientas de optimización CRIM ofrecen una

3 Control del caudal de mineral



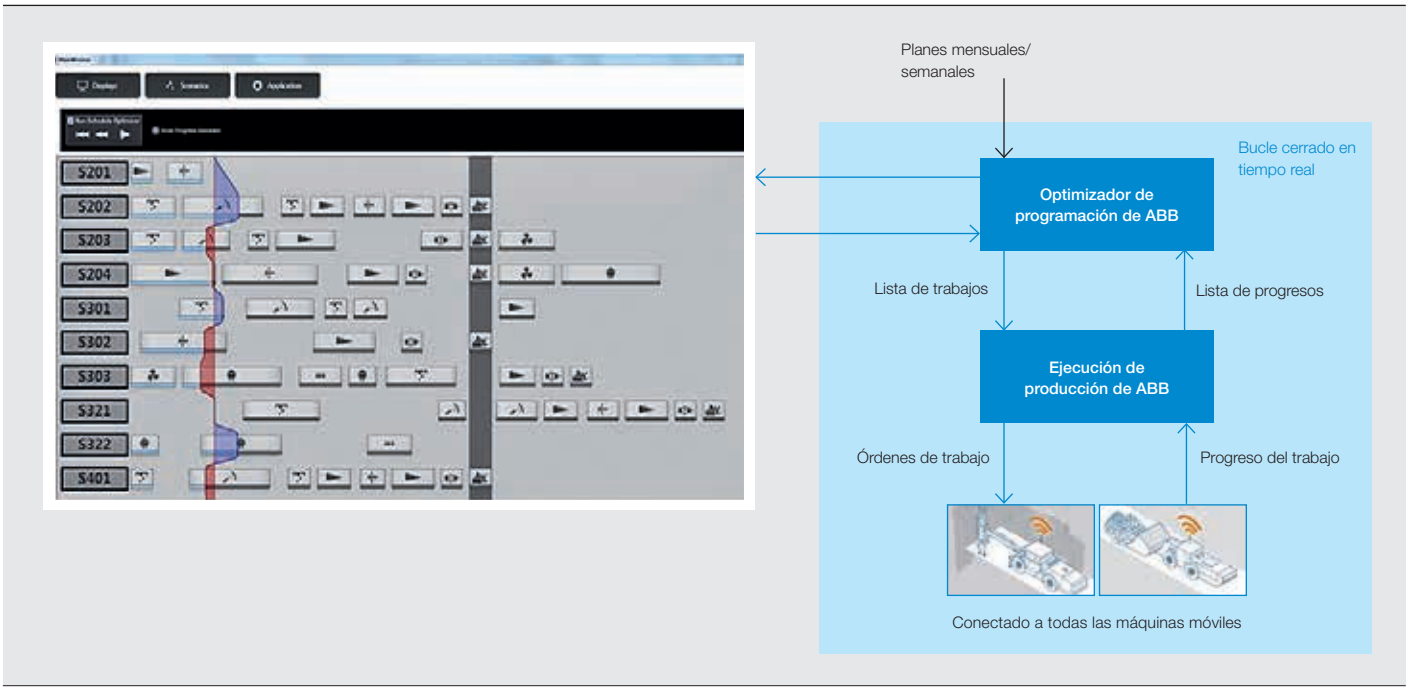
Los componentes clave han sido la integración vertical y horizontal, el control centralizado, los datos de una sola fuente y el acceso en tiempo real a los datos de máquinas.

solución al problema en varias fases. Comenzando con la evaluación de la criticidad y acabando con el análisis del coste del ciclo de vida (LCCA), las herramientas ayudan a los clientes del sector de la minería a analizar y elegir la estrategia de mantenimiento más rentable para el conjunto de la planta.

– *Localización:* en relación con el personal (a través de teléfonos móviles) y las máquinas. Gracias a un sistema de etiquetado se puede buscar y visualizar en un mapa tridimensional de la mina a máquinas y personas. Pueden construirse geobarreras en el sistema para zonas de seguridad. La productización (transformación en un producto) se realiza en cooperación con Mobilaris. Hay un producto disponible en el mercado llamado ABB Mine Location Intelligence
– El mayor valor que se aporta al cliente es la seguridad, pero también hacer más transparente la mina subterránea. Todos saben dónde está cada cosa.
– *Optimizador de programación y envío:* programación a corto plazo de todas las actividades realizadas bajo tierra y la distribución en línea de las órdenes de trabajo a los operarios. Las observaciones sobre los progresos realizados pueden notificarse en línea. Gracias al bucle cerrado y al optimizador puede automatizarse la programación a corto plazo. Es un producto llamado MineInsight. El sistema de envío está en el mercado y la programación debe estar lista para finales de 2016.
– Un valor para el cliente es que cuando se produzcan eventos no programados, el tiempo necesario para una nueva planificación inevitable se reduzca de horas a segundos. En consecuencia, puede hacerse un programa más ajustado que permita aumentar la producción (las pruebas indican un 10-20%) y, por tanto, una mejor utilización de los recursos. Siempre se dispondrá del estado actual en tiempo real y será posible predecir la producción futura.
– *Control del flujo de mineral:* todavía se encuentra en fase de desarrollo, ya que ha tenido una prioridad menor para el mercado. Se ha desarrollado un marco para el seguimiento del material que, junto con los conceptos de visualización, formará parte de MineInsight. Un valor para el cliente es la visualización en línea de la producción de mineral, la predicción de la producción y los eventos futuros, el equilibrado de masas a través de la cadena de valor y una producción eficiente con perturbaciones mínimas.

La quinta solución desarrollada ha sido la siguiente:

4 Programación automatizada con visualización en tiempo real del estado y la maquinaria actuales



5 Localización de máquinas y personal, visualizada en 3D

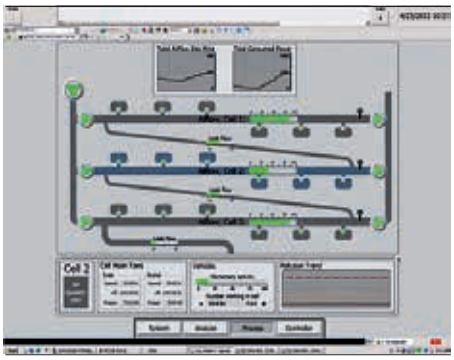
Un representante de Vattenfall AG declaró: “Nuestra atención se centra en la optimización del proceso, en el que toda la información se comparte y procede de una única fuente”

– Control de la ventilación de la mina: → 6 forma parte del producto ABB Smart Ventilation y está listo para su salida al mercado. Se pueden controlar todos los ventiladores y reguladores por medio del control de la información que facilitan los sensores.
– Un valor para el cliente es el sistema robusto de ventilación que pueda adaptarse fácilmente a condiciones nuevas. El consumo de energía de los ventiladores tiene la posibilidad de disminuir hasta un 50. Uso más eficiente de la infraestructura existente para la ventilación de la mina (es decir, los pozos), aplazando inversiones si así se desea y la ampliación de la mina.

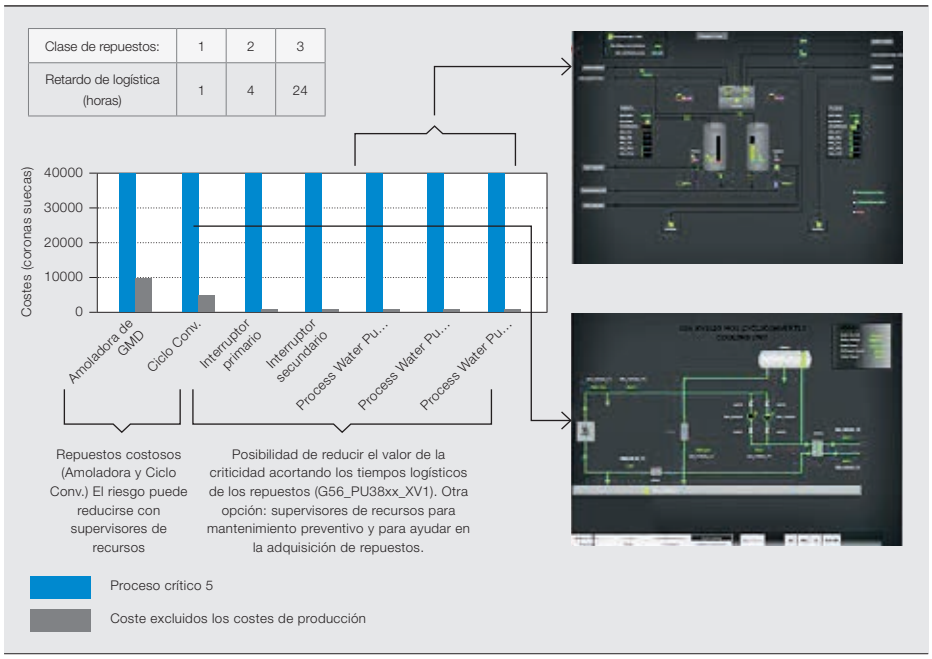
El recorrido de Mining 2.0: algunos datos

Mining 2.0 empezó como un pre-estudio en septiembre de 2009. En aquel momento, Rio Tinto había presentado su concepto “Mine of the Future” (La mina del futuro) con un proyecto de mineral llamado “A pit” (Pozo A). Se controlaría a distancia una mina entera desde un centro de operaciones remoto (Perth), situa-

6 Control de la ventilación de la mina



7 CRIM



do a 1.500 km de la mina (región de Pilbara, en el noroeste de Australia). Mining 2.0 fue la respuesta de ABB a la iniciativa de Rio Tinto con la tarea: “Mina del futuro: ¿qué representa para ABB?”

Durante la primavera de 2010 hubo dos eventos que fueron importantes para continuar. ABB había comenzado a explorar la posibilidad de colaboración con Atlas Copco. La mina optimizada se presentó en abril de 2010. Eran primordiales la integración de máquinas móviles y el seguimiento del material para descripción del flujo del proceso. El segundo evento fue una reunión con Vattenfall AG en Alemania. Un representante de Vattenfall AG declaró: “Hemos automatizado nuestras máquinas todo lo que hemos podido, nuestro objetivo es la optimización de proceso, en el que toda la información se comparte y procede de una única fuente”. Vattenfall prefería asimismo el control de la demanda en lugar del control del impulso, que es la condición normal de los trabajos de minería y de la minería continua.

Verano de 2011: ABB preparó la visión de una fábrica de mineral para presentaciones a los clientes.
Finales de 2011: ABB presentó los primeros conceptos de solución para una fábrica de mineral. Los primeros resultados fueron la herramienta de optimización CRIM → 7 y el método para una estrategia rentable de mantenimiento, que han sido probados con éxito en el emplazamiento y que se presentaron asimismo a finales de año.
2012: la demostración del concepto está lista, presentando el control de producción mediante programación, visualización del seguimiento del material y ventilación. También se demostró en el emplazamiento el control de la ventilación de la mina, con resultados positivos. En 2012, la unidad de negocio Mining de ABB empezó a desarrollar el sistema de órdenes de envío, una parte esencial de la programación automatizada.
2013: se desarrollaron sistemas de envío y se instaló un primer prototipo. CR empezó a probar algoritmos de programación con datos reales. Los algoritmos se probaron en el emplazamiento a finales de año.
2014: se presentaron en el mercado la ventilación MineInsight y Smart. Los primeros productos a la venta, como parte de los dos conceptos, han sido el sistema de envío y la ventilación de la mina previa petición.
2015: se presenta el programador de ABB a clientes determinados y se planea el lanzamiento del producto para finales de 2016.

Continuación de Mining 2.0

Mining 2.0 ha prestado atención al mercado de la minería y se han establecido varias relaciones con el mercado. Esto se ha utilizado para otras iniciativas para las que la minería es su mercado objetivo primario. Un ejemplo es retirar al personal del emplazamiento, desarrollando una plataforma móvil de manipulación industrial y una plataforma de control a distancia. Esto se ha traducido en un sistema robotizado para el proceso de carga. Los resultados se están desarrollando actualmente para obtener una solución para entrega.

El servicio a distancia, que incluye nuevos servicios tales como analítica y robots de servicio, se está examinando en la actualidad para que constituya una nueva actividad empresarial. En concreto, están en desarrollo la ventilación de la mina y la analítica de potencia, junto con la inspección de cintas transportadoras.

La primera red Long-Term Evolution (LTE) se está instalando en la actualidad en una mina subterránea en Boliden, Suecia. El proyecto se llama PIMM, y está financiado por Vinnova y ejecutado por un consorcio. Será el primer LTE del mundo instalado en una mina bajo tierra. Se utilizará para la prueba de futuras comunicaciones y soluciones 5G.

Jan Nyqvist
ABB Corporate Research
Vasteras, Suecia
jan.nyqvist@se.abb.com

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

RYAN LADD, PETER SANDEBERG – Todas las instalaciones eólicas marinas deben aguantar uno de los entornos más exigentes del planeta: el mar abierto. En una batalla constante con el viento, las olas y el agua salada, deben mantenerse firmes y transportar de forma fiable la electricidad a tierra, que a menudo se encuentra a muchos kilómetros de distancia. Tal vez la tarea más difícil de todas sea la entrega y la puesta en marcha de estos gigantes: con un peso que, en ocasiones, supera las 20.000 toneladas, se transportan y colocan en los buques más grandes del mundo, y se izan empleando las grúas más potentes que existen. Son operaciones que solo se pueden realizar en un clima benigno. El nuevo concepto de plataforma marina HVDC de ABB cambia completamente la situación.

Con el aumento de la demanda de energía limpia y fiable, las turbinas eólicas se están convirtiendo en un elemento familiar del paisaje en numerosos países. No obstante la fuerza del viento puede cambiar de repente en tierra firme y las corrientes de aire se pueden alterar por la presencia de colinas, árboles y ciudades. En el mar, por el contrario, el viento es bastante más constante y, en general, se puede confiar en que facilite una fuente de energía previsible. Además, el número de ubicaciones en tierra que sean aptas para la instalación de turbinas eólicas es limitado, tanto por motivos prácticos como estéticos, mientras que las turbinas eólicas marinas son menos visibles y el rendimiento eólico es significativamente mayor en alta mar. Por estos motivos, el número de turbinas eólicas en alta mar está aumentando con gran rapidez.

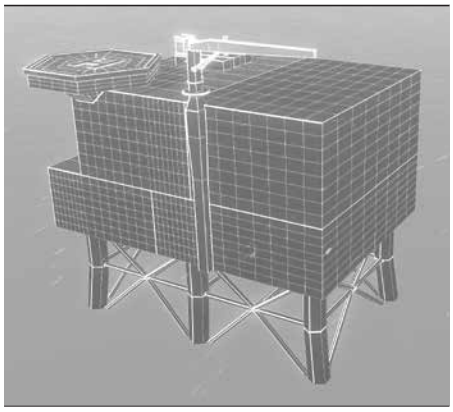
Por supuesto, hay que tener en cuenta los retos que presentan la generación y el transporte de electricidad en alta mar. El entorno es inclemente, se debe acceder a las instalaciones para realizar el mantenimiento y existen obstáculos técnicos críticos en el transporte submarino de electricidad a grandes distancias. El problema del transporte eficiente de electricidad a grandes distancias hasta tierra firme se ha solucionado en gran medida gracias a la tecnología de corriente continua de alta tensión (HVDC), que no muestra la propensión a sufrir las enormes pérdidas de los sistemas de corriente alterna (CA) tradicionales. Los equipos HVDC ofrece otras muchas ventajas técnicas: capacidad de control superior, respuesta rápida, capacidad de arranque autógeno, etc. Estas ventajas convierten la tecnología HVDC en la preferida para el transporte de electricidad a tierra firme en proyectos de todo el mundo.

Un nuevo concepto de plataforma modular HVDC en alta mar

Si bien HVDC es una tecnología consolidada y conocida desde hace más de 60 años, su aplicación en alta mar es relativamente reciente. El primer proyecto eólico HVDC en alta mar se llevó a cabo en 2009 y, desde entonces, cada instalación ha variado significativamente con respecto a sus predecesoras, un fenómeno común en una tecnología que evoluciona con rapidez.

Imagen del título
Los nuevos diseños de plataformas marinas reducen el peso a la mitad, simplifican el concepto eléctrico y permiten un enfoque modular en la construcción. Estas nuevas soluciones compactas de energía eólica marina tienen un aspecto bastante diferente al de la plataforma habitual, tal como se muestra en la ilustración.

1 El nuevo concepto de plataforma de ABB reduce considerablemente el peso de la plataforma



La experiencia y el conocimiento adquiridos en la implementación de HVDC en situaciones de alta mar han permitido que ABB desarrolle un nuevo y revolucionario concepto de plataforma, en el que se reduce el peso y el volumen de la plataforma en más del 50% en comparación con los diseños anteriores → 1. Además, la nueva plataforma HVDC en alta mar de ABB permite eliminar las plataformas de subestación de CA necesarias en la actualidad en los parques eólicos, dado que los aerogeneradores se pueden conectar ahora directamente a la plataforma HVDC a través de una red de captación de 66 kV. La eliminación de la plataforma de subestación de CA aumenta potencialmente el ahorro del peso total, hasta un 70% en total, en comparación con una configuración convencional, y reduce los costes operativos al eliminar el mantenimiento a largo plazo de estas estaciones.

El nuevo concepto de plataforma HVDC se basa en un producto de estructura de modular que ofrece la flexibilidad necesaria para adaptarse a las diferentes especificaciones de los clientes. La plataforma optimizada de nivel básico incluye todo lo necesario para una plataforma HVDC totalmente operativa pero si, por ejemplo, se necesitan viviendas, un helipuerto, una grúa más potente u otras opciones, el concepto permite que se añadan con facilidad, sin tener que diseñar y fabricar una plataforma completamente nueva desde cero.

El diseño modular, por supuesto, ofrece otras ventajas. Cada módulo se puede fabricar por separado, en paralelo con otros y en talleres más diversos y pequeños, a diferencia de la fabricación tradicional del conjunto de la plataforma superior en un espacio específico. De esta manera se incrementa el número de posibles proveedores, lo que facilita un entorno más competitivo y reduce significativamente los riesgos inherentes a todos estos megaproyectos.

Además de ventajas en la fabricación, también existen otros beneficios sustanciales en relación con el transporte. Existen pocos buques capaces de transportar e instalar las plataformas más grandes pero, con la mitad de peso y la flexibilidad de distribuir los módulos entre cargueros, el nuevo concepto representa un cambio radical en la gestión logística.

Una plataforma de futuro

El enorme ahorro de peso que ofrece el nuevo concepto de plataforma HVDC se ha conseguido mediante una estrecha colaboración entre los mejores ingenieros e investigadores de ABB en el ámbito de HVDC. El pensamiento innovador ha permitido una reducción sustancial del hardware HVDC instalado en la plataforma y, a través de extensos estudios y ensayos, se ha encontrado la manera de reducir la redundancia, manteniendo al mismo tiempo los elevados niveles requeridos de disponibilidad del sistema. Con las mejoras en el diseño y la eliminación del exceso de espacio, este nuevo y revolucionario concepto representa verdaderamente la última generación de plataformas.

Ryan Ladd
ABB Power Grids, Grid Systems
HVDC Market Communications
Ludvika, Suecia
ryan.ladd@se.abb.com

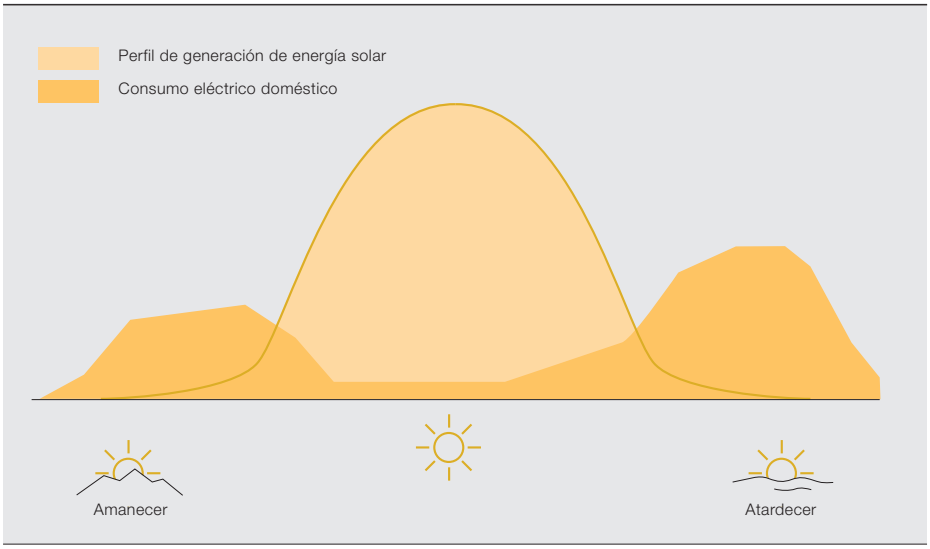
Peter Sandeberg
ABB Power Grids, Grid Systems
HVDC Marketing and Strategy
Västerås, Suecia
peter.sandeberg@se.abb.com

Ahorro local

El almacenamiento de energía facilita el acceso a la energía solar en los hogares

PAOLO CASINI – "El sol es la fuente de toda energía. El mundo debe optar por la energía de nuestro futuro: la solar". La declaración del Primer Ministro indio, Narendera Modi, en la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático, celebrada en París en 2015, hacía hincapié en un objetivo clave de la Alianza Solar Internacional que pusieron en marcha Francia e India: conseguir que la energía solar sea más accesible para todas las personas. De hecho, la energía solar fotovoltaica (FV) ya ha experimentado un gran impulso desde 2004, gracias a sistemas del tipo Feed-in Tariff (FIT) o tarifa regulada. Un factor fundamental que respalda aún más este crecimiento y contribuye a la sostenibilidad económica y técnica de la energía solar FV es el almacenamiento de energía. La incorporación del almacenamiento impulsará la próxima generación de los sistemas FV. Es probable que la energía solar, tal como la conocemos, tenga un aspecto muy diferente en el futuro, especialmente en el ámbito residencial, y ABB se encuentra a la vanguardia de esta evolución.

1 Las aplicaciones residenciales se caracterizan por una pobre correspondencia entre el perfil de la demanda de energía y la curva de producción de energía solar



En el ámbito residencial, el sistema FIT ha garantizado, desde hace años, la remuneración de cada kWh de energía solar aportado a la red a una tarifa sensiblemente superior al precio al consumidor de la electricidad, sin obligación de realizar un ajuste entre la aportación a la red y la demanda real de la vivienda, ni en términos de equilibrio energético ni en términos de equivalencia de potencia en un momento dado. Esta situación está cambiando. Actualmente este panorama está evolucionando y ha pasado de ser una forma de inversión económica a satisfacer una necesidad fundamental, impulsada principalmente por los siguientes factores: los posibles problemas de inestabilidad de la red como consecuencia de una mayor penetración de la generación distribuida, la inminente paridad del coste de autogeneración y el precio al consumidor de la electricidad, y la reducción de los incentivos.

Al allanar el camino del suministro de energía solar y la optimización de la energía generada localmente, lo que se traduce en una integración de redes y la reducción del coste de la electricidad, respectivamente, el almacenamiento de energía impulsará la próxima generación de sistemas FV. Si bien la contención de los costes de integración de redes es una prioridad para las compañías de servicios públicos, la reducción del coste de la energía facilitará la incorporación de los sistemas fotovoltaicos en los hogares.

Imagen del título
¿Cómo pueden las soluciones residenciales de almacenamiento de energía de ABB facilitar unas instalaciones solares FV más flexibles y accesibles en los hogares?

Autoconsumo y autosuficiencia

La próxima generación de soluciones de energía solar residencial se basa en dos factores: el autoconsumo energético y la autosuficiencia energética. El autoconsumo energético se refiere al consumo que hace un hogar de energía solar generada localmente, y la autosuficiencia energética es la capacidad de satisfacer de forma autónoma la demanda de energía en el hogar. Se prevé que la próxima generación de sistemas solares suministre energía eléctrica a los hogares en función de la demanda, y que minimice la compra de electricidad procedente de la red. Con el fin de cumplir estos dos requisitos, se debe superar la disparidad entre el perfil de energía solar diaria y la demanda de los hogares → 1.

Existen diversas maneras de lograr un nivel aceptable de autosuficiencia y autoconsumo en aplicaciones solares residenciales:

- Gestión de carga de los electrodomésticos, pasando a utilizarlos durante el día, cuando se dispone de energía solar.
- Almacenamiento de la energía procedente de la fuente (siempre que exceda la demanda del hogar), y suministro de la energía cuando sea necesario, en general, antes del amanecer y después del atardecer.
- Sustitución de las soluciones no eléctricas más tradicionales por cargas eléctricas, por ejemplo, cargas térmicas y/o vehículos eléctricos.

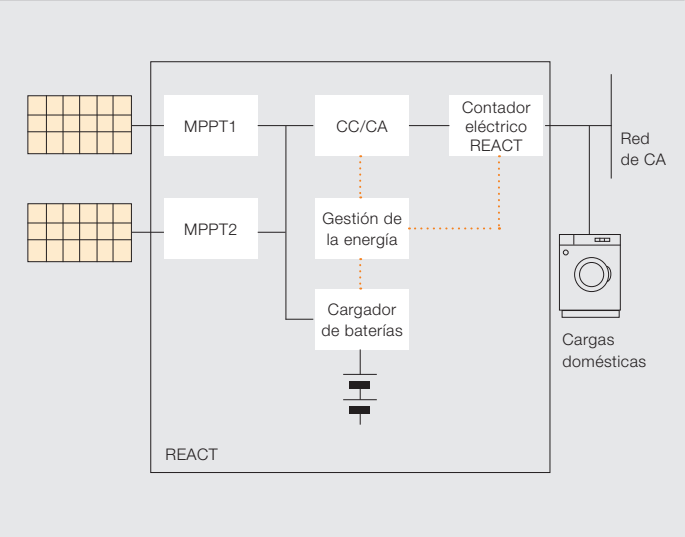
> Es probable que la energía solar, tal como la conocemos, tenga un aspecto muy diferente en el futuro, especialmente en el ámbito residencial, y ABB se encuentra a la vanguardia de esta evolución.

- Agregación del sistema de gestión de energía local a sistemas distribuidos acoplados a la red de mayor tamaño para la prestación de servicios auxiliares.

Un nivel de autoconsumo y autosuficiencia que supere el umbral del 30% en ambos casos, normalmente alcanzable por las instalaciones FV tradicionales,

2 REACT (Acumulador de energía renovable y tecnología de conversión) de ABB

3 Diagrama de bloques de REACT El sistema presenta un medidor de energía exclusivo para control del autoconsumo y la autosuficiencia



solo se puede obtener de una manera rentable a través de la combinación de las soluciones anteriores, en su totalidad o en parte. Para la implementación a escala de producto, las dos soluciones que deben tenerse en cuenta son la gestión de la carga y el almacenamiento de la energía.

Almacenamiento de energía en aplicaciones solares residenciales

Las baterías electroquímicas son una de las mejores maneras de almacenar el exceso de energía solar, ya que son prácticas y rentables. No obstante, si bien la agregación arbitraria de baterías en una instalación FV puede permitir alcanzar la autosuficiencia total en un hogar, podría no ser rentable económicamente. El motivo se debe al elevado coste actual de las soluciones de baterías técnicamente viables, además del sobredimensionamiento necesario de los paneles FV para cargar la batería.

Por el contrario, una solución FV/almacenamiento residencial económicamente sostenible es el resultado del equilibrio entre el tamaño de la batería instalada y la rentabilidad conseguida mediante los niveles de autoconsumo y autosuficiencia como parte de una estrategia global y personalizada de gestión energética.

En otras palabras, se trata de lograr una solución de compromiso óptima entre el coste de la batería (y el tamaño de los paneles FV) y la reducción de la electricidad comprada de la red que el sistema puede alcanzar.

El sistema REACT (Acumulador de energía renovable y tecnología de conversión) de ABB está diseñado para ofrecer a los clientes esta solución de compromiso óptima → 2. El sistema se compone de un inversor FV acoplado a la red (hasta 5 kW), alimentado con un enlace de CC, al que se conectan a su vez los dispositivos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), conectados a los paneles FV, y un cargador de baterías bidireccional → 3. Su arquitectura de enlace de CC integrada facilita la solución más rentable para instalaciones nuevas, y además se puede utilizar para remodelar instalaciones FV existentes como cargadores de baterías de enlace de CA, simplemente no conectando los paneles FV a su entrada → 4.

> La próxima generación de soluciones de energía solar residencial se basa en dos factores: el autoconsumo energético y la autosuficiencia energética.

REACT cuenta con una arquitectura modular, con el compartimento de electrónica situado en el lado derecho y el compartimento de la batería en el izquierdo. En un sistema se pueden instalar hasta tres compartimentos de batería. El producto ofrece una prestación de respaldo de la batería en el caso de que se produzca un corte en la red.

Eficacia en la implementación del producto

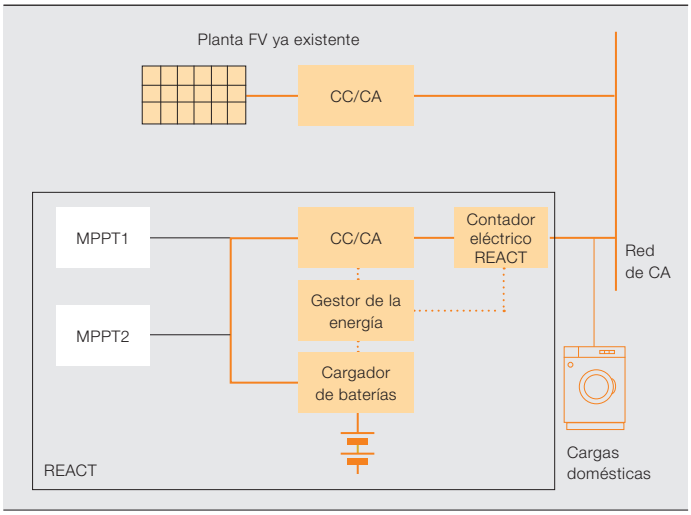
El sistema de almacenamiento de energía de REACT está formado por baterías de iones de litio con una arquitectura modular que permite ampliar el sistema de los 2 kWh nativos hasta 6 kWh en el lugar de instalación. Un eficaz sistema de gestión de cargas integrado permite la interacción con cargas/aparatos seleccionados, aumentando la independencia energética de la vivienda hasta un 60% con la configuración básica del sistema → 5. El equilibrio entre el tamaño de la batería y el nivel de autosuficiencia que ofrece el sistema es un objetivo variable, ya que depende de la evolución del coste de las baterías. Por lo tanto, será posible ampliar la capacidad de la batería hasta 6 kW, para ajustar la escala del sistema después de la instalación, cuando el coste de las baterías permita una mejor tasa interna de retorno (TIR)el sistema → 5.

Ejemplo de caso práctico

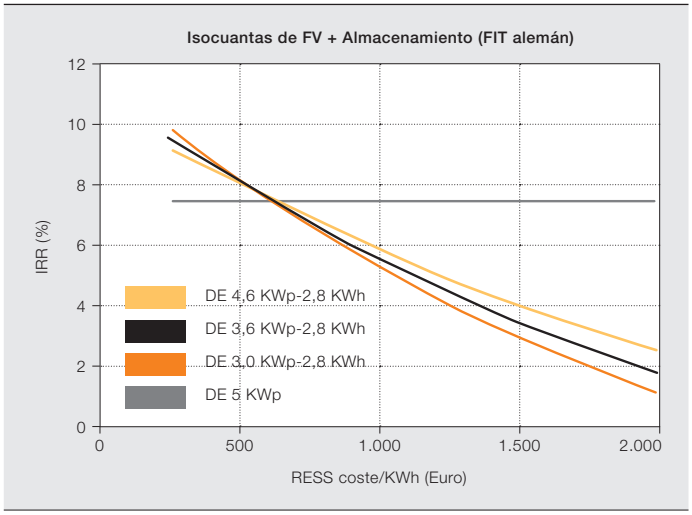
La elección de las baterías de iones de litio como elemento de almacenamiento se basa en:

- El favorable perfil de costes previsto en los próximos años → 6.
- El tamaño/la capacidad y el rendimiento.

4 Remodelación de una planta FV preexistente con REACT en modo de enlace de CA No se utilizan las entradas FV del REACT (MPPT1/2)



5 IRR de un sistema residencial FV + almacenamiento (caso alemán) por configuración del sistema frente al coste del sistema de baterías



– La potencia nominal de carga/descarga (0,5xC a C se puede alcanzar sin ningún impacto negativo en la vida útil de la batería).
– Una duración doble (10 años).

La adición de capacidad de almacenamiento de energía a un inversor solar tradicional representa la evolución de los sistemas residenciales solares hacia la autosostenibilidad.

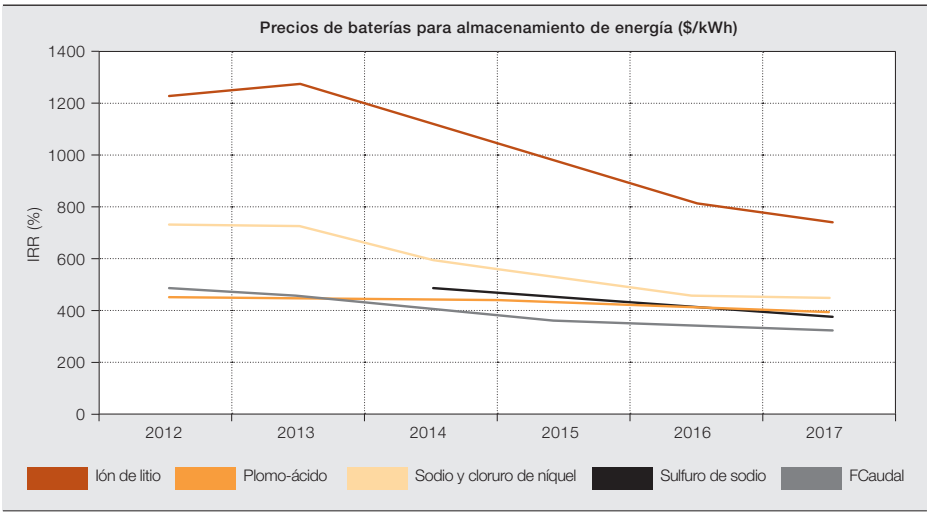
– Una eficiencia (energía de descarga frente a carga) superior al 95% → 7 muestra el resultado simulado para una vivienda en Múnich, Alemania, en los siguientes supuestos:
– Producción solar anual de 990 kWh/kW pico.
– Familia de cuatro miembros.
– Consumo anual de 4.100 kWh (frigorífico/congelador: 0,4 kW; lavadora: 2,0 kW; bomba de calor: 2,0 kW; horno eléctrico: 2,8 kW).
– Capacidad FV instalada: 5 kW CC.
– Precio al consumidor de la electricidad: 0,23 euros/kWh (0,26 dólares/kWh).

La adición de un componente de almacenamiento de 2 kWh a una instalación residencial de 5 kW puede incrementar la autosuficiencia y el autoconsumo de este hogar típico en un 15–10%, respectivamente. Se puede conseguir un mayor incremento, pasando del 5% al 7% añadiendo otro componente al sistema: la gestión de cargas de la vivienda → 7.

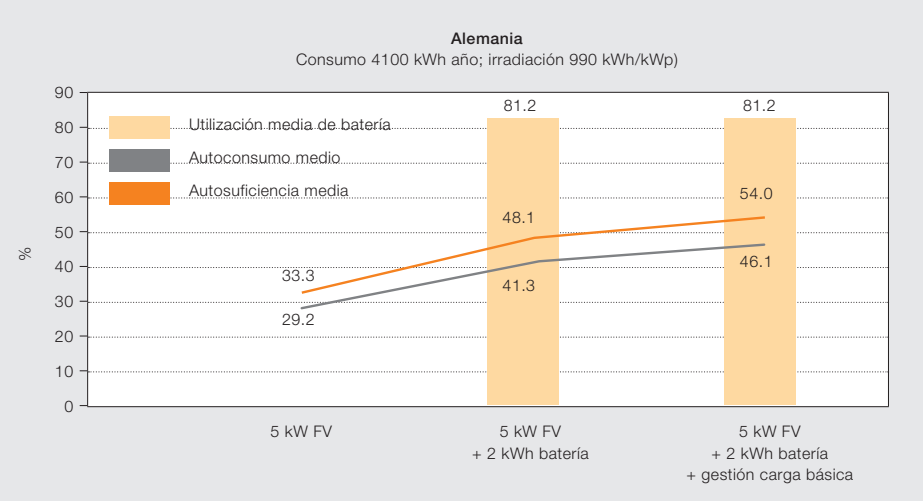
El gestor de cargas gestiona el cambio de la demanda energética de la vivienda interactuando con los electrodomésticos programables no críticos. Considerando el control mediante microprocesador del que disponen la mayoría de los grandes electrodomésticos actuales, la interacción perfecta con el gestor de cargas de la vivienda se realizaría a través de un enlace de datos que conectase las cargas de la vivienda con el gestor de cargas. Esta norma de comunicación, aunque la aplican de forma generalizada los fabricantes de electrodomésticos y lo abordan diversos comités en Europa y los Estados Unidos, lamentablemente sigue sin reconocerse ni aplicarse. Por lo tanto, la manera eficaz de integrar el gestor de cargas en REACT es mediante una serie de señales que se utilizan para iniciar las cargas programables o indicar al operador cuándo se puede iniciar una determinada carga.

En cualquier caso, REACT está completamente preparado para la domótica con la posibilidad de interactuar con las cargas críticas de la vivienda e incluso con un sistema gestor de energía externo a través de los próximos estándares de comunicación de enlace digital, Wi-Fi o ZigBee.

6 Tendencia de coste esperada por tecnología de baterías. El ión de litio presenta la mayor reducción de coste junto con una de las mayores vidas útiles de batería. Fuente: IMS



7 Nivel de autoconsumo y autosuficiencia conseguido en instalaciones típicas de Alemania con distintos niveles de configuración de sistemas FV.



Los sistemas solares residenciales evolucionan

La adición de capacidad de almacenamiento de energía a un inversor solar tradicional representa la evolución de los sistemas residenciales solares hacia la autosostenibilidad. Con el fin de lograr un retorno positivo de la inversión, es fundamental mantener un equilibrio adecuado entre el coste de las baterías y el nivel de autosuficiencia/consumo energéticos.

Una selección minuciosa del tamaño de la batería debe estar respaldada por la aplicación de una estrategia eficaz para gestionar los caudales energéticos del sistema: desde la fuente FV a la batería, desde/hacia la red y los electrodomésticos de la vivienda, y un determinado nivel de interacción entre el gestor de energía del inversor y las cargas de la vivienda. Tal como se ilustra en el caso práctico, ABB está preparada para ofrecer una solución completa de almacenamiento de energía residencial, con la última tecnología de gestión de cargas, que facilitará la existencia de instalaciones FV más prácticas y flexibles en las viviendas.

Paolo Casini
ABB Discrete Automation and Motion,
Power Conversion
Terranuova Bracciolini, Italia
paolo.casini@it.abb.com

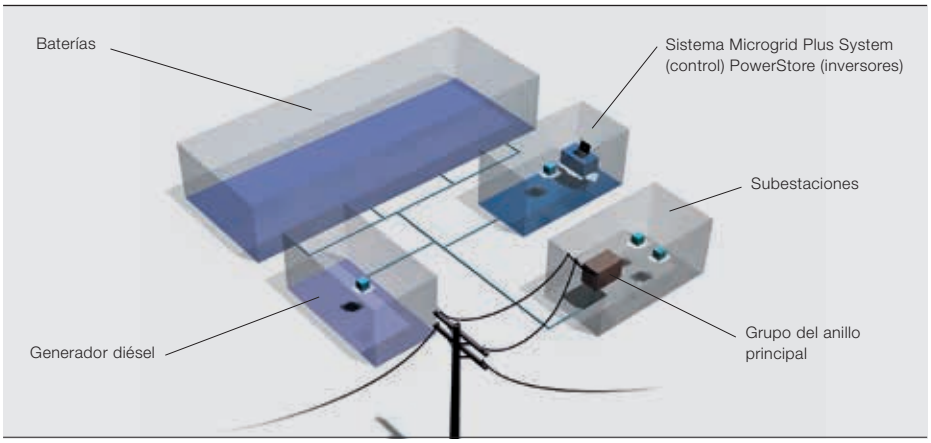
La incorporación del almacenamiento impulsará la próxima generación de sistemas FV.

El valor de los sistemas de almacenamiento

Caso práctico a gran escala de una microrred conectada a red con baterías/diésel

NIRUPA CHANDER, JACK GAYNOR – En el ámbito de la tecnología de baterías a gran escala se ha realizado un gran avance. A medida que esta evolución técnica acelera el ritmo, crea economías de escala que aumentan cada vez más el atractivo comercial de la tecnología. Este avance técnico y el cambiante panorama de costes han dado lugar a que numerosas empresas de servicios públicos estudien el uso de la tecnología de baterías como base de un sistema de almacenamiento de electricidad de red (GESS). AusNet Services, con sede en Victoria (Australia), empezó a investigar el concepto GESS en 2013 y no tardó en iniciar un ensayo destinado a explorar el potencial de la tecnología para gestionar los picos de demanda y posponer la inversión en ampliación de las redes. A través de una licitación pública AusNet Services adjudicó el contrato para diseñar, construir y suministrar un GESS a un consorcio liderado por ABB y Samsung SDI, en el que ABB facilitaba la tecnología de integración y el diseño, y Samsung SDI asumía el papel de proveedor de baterías.

1 Esquema del sistema



Promovida por distintas partes interesadas, entre ellas, empresas públicas de suministro eléctrico, fabricantes de automóviles y operadores de centros de datos, la tecnología de baterías ha avanzado considerablemente en la última década. Al mismo tiempo, ha aumentado el número de nuevas aplicaciones de las baterías. Merece la pena destacar el uso de microrredes conectadas a la red con baterías a gran escala para gestionar los picos de demanda y posponer el aumento de las redes. Con la finalidad principal de investigar estos dos aspectos, AusNet Services realizó un ensayo de un GESS fuera de la red. La empresa optó por un consorcio liderado por ABB y Samsung SDI para el suministro del GESS. Teniendo en cuenta las capacidades del GESS con respecto a la calidad de la electricidad, también se estudió el efecto sobre la calidad de la electricidad local y la estabilidad facilitada por un generador integrado de este tipo. Además, también se analizó el potencial de las capacidades de funcionamiento en modo "isla" del GESS para mejorar el suministro eléctrico y su estabilidad en el caso de fallos en una red de gran tamaño.

Imagen del título
ABB lideró el suministro de una instalación de baterías a gran escala (en la imagen) para AusNet Services en el norte de Melbourne, Victoria (Australia). ¿En qué medida ha ayudado a la empresa de servicios públicos a gestionar la demanda y optimizar la inversión?

Descripción general del sistema

El GESS consta de tres componentes principales: un sistema de almacenamiento de energía con baterías de iones de litio de 1 MWh 1C (la "C" se refiere al rendimiento de carga/descarga), acoplado a la red a través de un inversor de 1 MVA; un generador diésel de respaldo de 1 MVA; y una subestación de conexión a red que consta de un transformador de 3 MVA y una unidad principal en anillo (RMU) rellena de hexafluoruro de azufre (SF_6), así como dispositivos de protección eléctrica ➔ 1. Todos los componentes del sistema son portátiles, y el generador, las baterías y un inversor PCS100 Power-Store™ 4Q (cuatro cuadrantes) están alojados en contenedores de transporte equipados con climatización integrada (calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire) y extinción de incendios. El transformador y la RMU se alojan en plataformas montadas sobre patines.

El sistema de baterías de Samsung SDI consiste en cuatro contenedores de transporte autónomos. Las baterías de 1 MWh 1C tienen unas capacidades nominales simétricas de carga y descarga de ± 1 MW y pueden pasar de carga a descarga con gran rapidez, lo que permite un funcionamiento fiable.

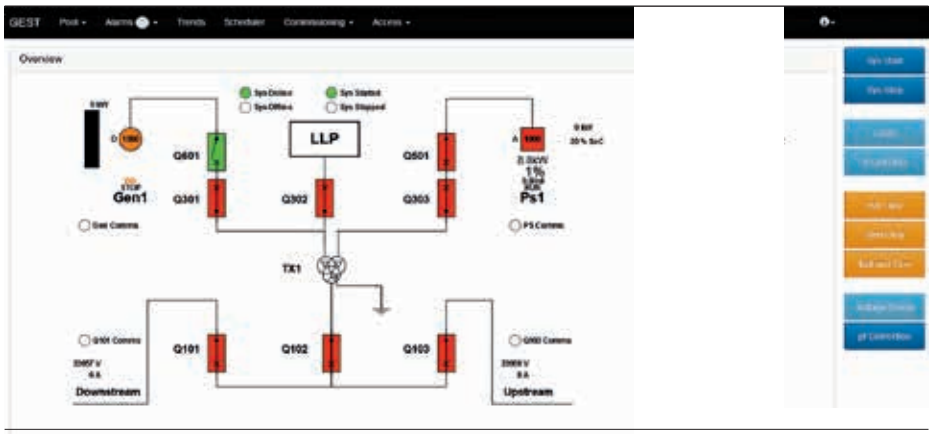
ABB PowerStore

El núcleo del GESS es el inversor PCS100 4Q basado en el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) del ABB PowerStore, que conecta el sistema de almacenamiento de electricidad de las baterías de iones de litio de Samsung a la red a través de un bus de CC de 1.000 V. Con una potencia nominal simétrica de ± 1.372 kVA, PowerStore facilita una gestión de potencia real y reactiva totalmente bidireccional. En el GESS, PowerStore trabaja en modo de generador virtual (VGM) como un inversor de la fuente de tensión, funcionando como un generador sintético. Se asemejaría a un generador diésel tradicional, pero con un tiempo de respuesta excepcional y unas capacidades ampliadas de suministro de electricidad y estabilidad, con un efecto similar a un STATCOM (compensador estático). De esta manera, PowerStore puede actuar como una fuente de generación en forma de red que

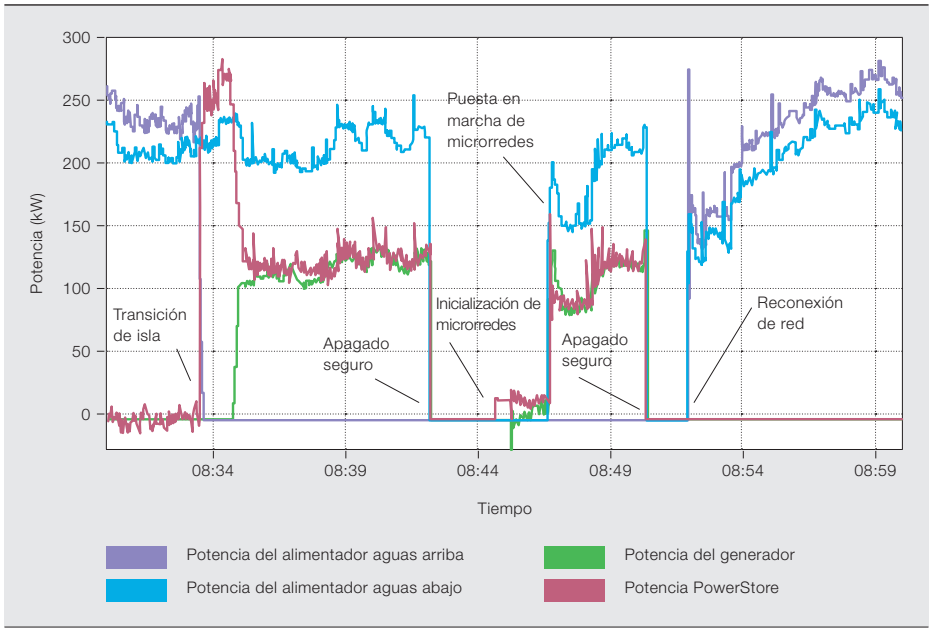
> Una fuente de generación integrada, como un GESS, puede facilitar un respaldo de cargas de picos mediante el suministro de cargas al alimentador ascendente a nivel local durante los periodos de mayor consumo.

El GESS permite que el sistema descendente funcione como una microrred en modo "isla", alimentada en su totalidad por el GESS, o como un sistema conectado a la red.

2 GESS M+ Pantalla de presentación de operaciones



3 Funcionamiento de GESS en modo isla: transición de la conexión de red a microrred en modo "isla", apagado del sistema de microrred, inicialización de microrred y reconexión de la red



otros generadores síncronos, como las turbinas eólicas o los inversores solares, pueden utilizar como tensión de red y referencia de frecuencias. Además, PowerStore responde a los fallos en la red de la misma manera que un generador síncrono, suministrando una corriente de fallos de hasta 2 pu (por unidad) durante 2 s.

Se proporciona un generador diésel de 1 MVA para ampliar la duración de la descarga y la potencia de salida del GESS, recargar las baterías bajas y proporcionar electricidad a la microrred.

Tanto el PowerStore como el generador están interconectados a la red de 22 kV a través de un transformador de 3 MVA con un interruptor neutro conectado a la red principal y una RMU rellena de SF_6 con un interruptor trifásico. Los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) de protección eléctrica, tres REF630 de ABB, protegen y supervisan la conexión a la red. Un ABB Synchrotact® permite que el GESS se sincronice con la red y pase del funcionamiento en modo "isla" al modo conectado a la red a través de transiciones "sin sacudidas". Si se produce un corte en la alimentación local, el GESS puede alimentar la red de control auxiliar de CA de 240 V durante 8 h, como mínimo.

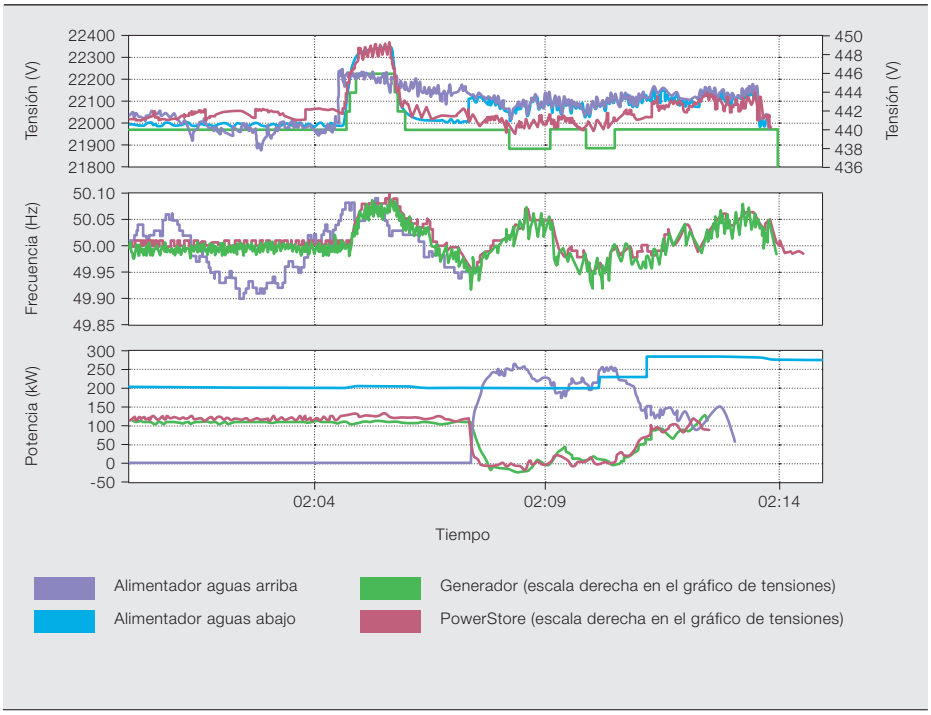
Control Microgrid Plus

El sistema de control Microgrid Plus de ABB gestiona el GESS y garantiza un suministro de red constante, además de estabilidad. Este sistema de control distribuido se interconecta con cada elemento importante de la instalación, recopilando información del sistema eléctrico para su publicación en la totalidad de la red. Los controladores individuales de Microgrid Plus actúan de una manera distribuida, lo que permite que el GESS funcione como un conjunto cohesionado. La supervisión y la gestión a distancia se facilitan a través de las Operaciones M+ de ABB, así como a través de una conexión de unidad terminal remota (RTU) al sistema de control de AusNet Services → 2. La reserva giratoria la mantiene el sistema de control Microgrid Plus a través de la supervisión constante de los caudales de potencia y electricidad, con el fin de garantizar que se puede hacer frente a todas las etapas de cargas requeridas.

Protección del GESS

La protección está garantizada mediante el uso de un conjunto de métodos complementarios. El Samsung BMS comunica cualquier alarma al sistema de control Microgrid Plus que, a su vez, dejará de funcionar en caso de producirse una alarma crítica. Se implementa una protección

4 Sincronización GESS: tensión, potencia y frecuencia durante la transición y la sincronización del modo "isla" al modo de conexión a la red empleando un banco de cargas



Cuando la tensión de red supera el punto de consigna, el GESS absorbe la potencia reactiva; en el caso de que sea inferior, el GESS inyecta potencia reactiva a la red.

"anti-isla" para garantizar que, en el caso de que se produzca la apertura de un alimentador ascendente, el GESS no trate de suministrar a la red de distribución más amplia o a la red de la que forma parte tal alimentador.

Los relés REF630 implementan varias funciones de protección del sistema eléctrico: un relé de respaldo de fallos de tierra y relés de supervisión del aislamiento.

Modo "isla"

Cuando se realiza la transición del modo conectado a la red al modo "isla", el GESS incrementa su potencia de salida de manera que el caudal de potencia a través del interruptor ascendente sea cero y el GESS suministre toda la carga del alimentador descendente, así como la carga de potencia auxiliar (lo que explica la diferencia de ~30 kW entre la potencia del PowerStore y la potencia del alimentador descendente, y entre la potencia del alimentador ascendente y la del alimentador descendente) → 3.

Con un caudal de potencia a través del interruptor ascendente de cero, el interruptor se abre y el PowerStore en solitario alimenta la microrred, el generador se pone en marcha, y el PowerStore y el generador comparten pasivamente la carga del alimentador descendente hasta que se realice un apagado seguro del sistema. Posteriormente, al inicializar la microrred, el PowerStore comienza a facilitar una referencia del sistema con el fin de que el generador se sincronice y, a continuación, se cierra el interruptor del alimentador descendente y el GESS suministra electricidad al alimentador descendente hasta que se realice un apagado seguro del sistema.

Cuando las fuentes de generación cambian de estado, de conexión a desconexión y viceversa, los grupos de IED de protección se cambian automáticamente, garantizando que los IED REF630 utilicen los parámetros de protección correctos.

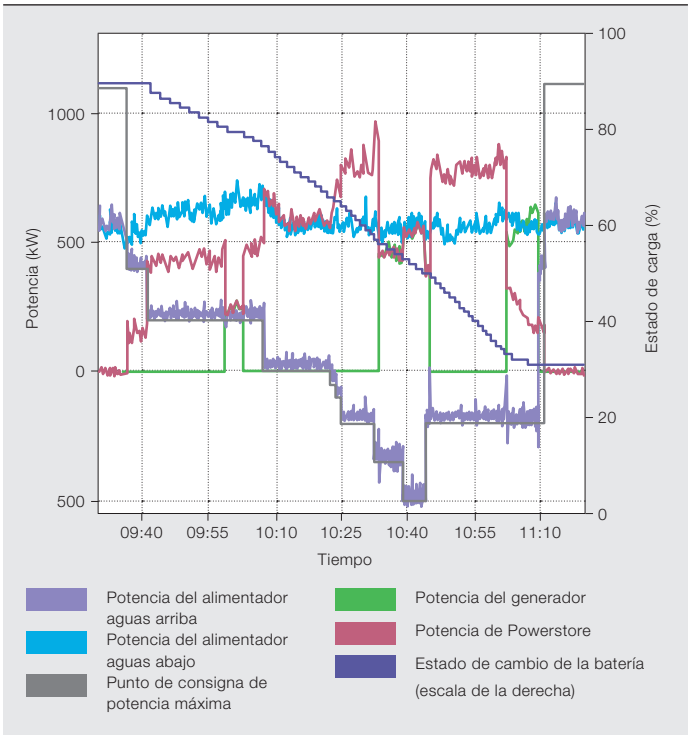
Un GESS ayuda a mitigar los problemas de suministro y estabilidad asociados con la intermitencia de las energías renovables.

Cuando se realiza la transición a un sistema conectado a red, y viceversa, el GESS ajusta la tensión y frecuencia de salida del PowerStore y el generador, con el fin de garantizar que la tensión y la frecuencia del alimentador descendente sean idénticas a las de la red ascendente → 4. Esto se logra mediante el envío de señales de un ABB Synchrotact al sistema de control Microgrid Plus, que ajustará la tensión y la frecuencia de salida del PowerStore y el generador para sincronizar ambas redes. La transición a un estado en "isla" se realiza tal como se ha descrito anteriormente: cuando el caudal de potencia a través del interruptor ascendente es cero, este interruptor se abre y el interruptor neutro de alta tensión se cierra.

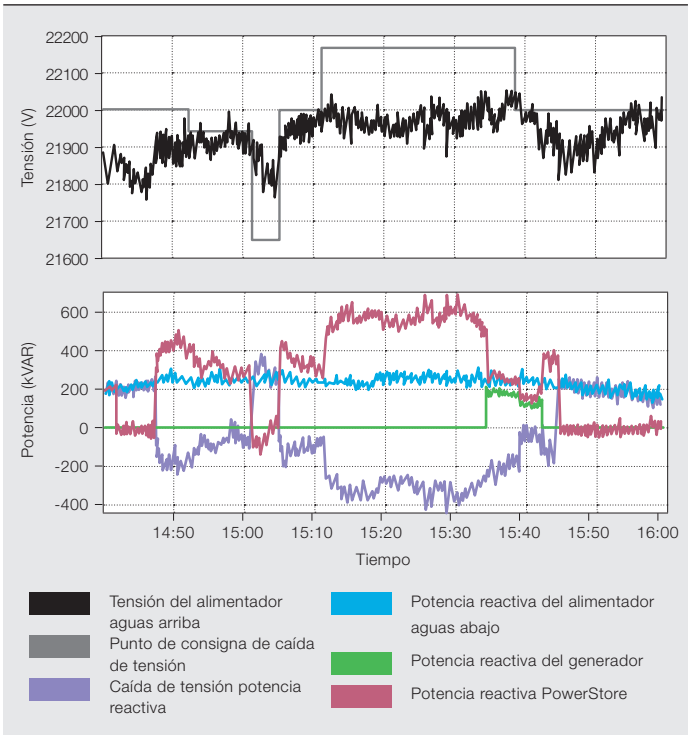
Recorte, inyección y corrección

Al realizar un recorte de picos (es decir, al utilizar el GESS para eliminar los picos de demanda en la fuente de alimentación primaria), el sistema de control Microgrid Plus inyecta potencia del PowerStore o el generador para mantener la carga del alimentador ascendente en un punto de consigna de potencia máxima predeterminado cumpliendo, al mismo tiempo, el requisito del alimentador descendente → 5. Cuando el PowerStore y el generador se encuentran conectados, comparten pasiva y proporcionalmente los requisitos de carga de electricidad.

5 Recorte de picos GESS



6 Parámetros GESS durante la caída de tensión



Cuando el estado de carga de las baterías alcanza un punto de consigna mínimo (35% en → 5), la microrred incrementa la carga del generador y disminuye la carga del PowerStore para reducir la velocidad de descarga.

Cuando trabaja en el modo de caída de tensión, el sistema compara la tensión de red con un parámetro establecido, utilizando la diferencia entre los dos valores para determinar la cantidad de potencia reactiva que se inyecta en la red, o se absorbe de la misma, con el fin de estabilizar la tensión de red → 6.

La corrección del factor de potencia se realiza mediante la inyección de potencia reactiva en la red, o la absorción de potencia reactiva de la misma, de una manera similar a la empleada por el algoritmo de caída de tensión.

Una recarga con una carga del alimentador mínima cargará la batería, al mismo tiempo que se cumplirán los requisitos de carga del alimentador descendente. Cuando la demanda del alimentador ascendente sea mayor que el punto de consigna máximo, el GESS realizará un recorte de picos tal como se ha descrito anteriormente. Se puede utilizar una recarga programada para cargar las baterías cuando el coste de la electricidad sea reducido.

Resultados del sistema

Los alentadores resultados del estudio permiten afirmar que el GESS es un producto que reforzará y estabilizará la red eléctrica, además de posibilitar que se pospongan o eliminen las actualizaciones de los sistemas. Las capacidades de funcionamiento en modo “isla” del GESS ayudarán a reducir el grado de gravedad y la duración de las interrupciones de grandes macrorredes, dado que los fallos graves se pueden aislar y rectificar mientras el GESS mantiene el suministro a las zonas afectadas. Un diseño compacto y portátil permite una ubicación del GESS próxima a las instalaciones del cliente.

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías son prometedores en cuanto que incrementan la contribución de la generación solar a las grandes macrorredes tradicionales, al mismo tiempo que la naturaleza intermitente de las fuentes de energía solar se puede paliar mediante un GESS o un sistema similar. De hecho, un GESS se puede utilizar como respaldo de cualquier fuente de generación distribuida.

Los avances en la tecnología de baterías de iones de litio (especialmente con cargas y descargas nominales próximas a 4C, en las que un banco de baterías de 250 kWh podría realizar una descarga a 1 MW, y la reducción del tamaño) ofrecen interesantes posibilidades para un almacenamiento de energía rentable en microrredes más pequeñas y distantes. El aumento de los valores nominales es también atractivo en el caso de sistemas conectados a grandes redes como respaldo de carga en picos intensos locales, como los necesarios para respaldar los hornos de arco, las grandes grúas y otras cargas industriales grandes e intermitentes.

ABB y Samsung SDI tienen previsto continuar con el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía modulares y escalables para su uso en microrredes y otras aplicaciones, además de explorar la manera en que estas tecnologías pueden permitir a los clientes reducir su impacto medioambiental y aumentar las aportaciones estables y sostenibles de energía a sus redes.

Por sus valiosas contribuciones, los autores desean demostrar un agradecimiento especial a Yogendra Vashishtha, director de proyectos de AusNet Services, y a Hachull Chung, director de proyectos de Samsung SDI.

Nirupa Chander
ABB Power Grids, Grid Automation
Notting Hill, Australia
nirupa.chander@au.abb.com

Jack Gaynor
Antiguo empleado de ABB

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 suscríbase en línea en www.abb.com/abbreview

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

Editorial y copyright © 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 4|16

Transporte

La creciente globalización de los procesos y los servicios depende de la capacidad de trasladar a personas y productos, ya sean mercancías que se envían al otro extremo del mundo en un gran buque, o trabajadores que realizan su trayecto diario entre su casa y el lugar de trabajo en una misma ciudad en automóviles eléctricos, autobuses o trenes. ABB considera que los sistemas de transporte deben ser respetuosos con el medio ambiente, sostenibles en relación con los recursos y también competitivos desde el punto de vista económico. ABB presta numerosos servicios y productos punteros de apoyo al sector de los transportes. Abarcan desde sistemas de propulsión para grandes buques a puntos de recarga para vehículos eléctricos. Y además del hardware, cada vez más se incluyen ofertas de servicios y servicios a distancia.
El próximo número de ABB Review estará dedicado al transporte y la contribución de ABB al mismo.

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.

Colocar aquí la etiqueta de la dirección

Nuestra contribución al futuro: hacer que el mundo funcione, pero sin consumir los recursos naturales.

Para cambiar el mundo es necesario que concurran un espíritu pionero e innovaciones trascendentales. Solar Impulse encontró estas dos condiciones en ABB. Nuestra visión colectiva es clara: hacer que el mundo funcione, pero sin consumir los recursos naturales. Como líderes en tecnología pionera, es algo que hemos hecho siempre en los ámbitos de las energías renovables, la eficiencia energética y la movilidad sostenible. Solar Impulse está llevando este mensaje a cotas nuevas. Para ABB, el viaje continúa. La digitalización y la sostenibilidad son elementos integrantes de una cuarta revolución industrial en la que ABB servirá de guía, propulsada por la innovación. Si desea seguir leyendo este artículo, visite **www.abb.com/betterworld**

ABB

Google play

App Store

Power and productivity
for a better world™

ABB