ABB review

2|13

La revista técnica corporativa

la revista ABB

Interruptor híbrido para HVDC 6
Respirar bajo tierra 35
Mantenimiento por adelantado 64
100 años de electrónica de potencia 70

Tecnología de vanguardia

Power and productivity for a better world™

La presa Atatürk en el Eúfrates, en Turquía, se terminó en 1993. El embalse de 817 km^2 que forma puede contener 48,7 km^3 de agua. ABB entregó los ocho generadores de 300 MW. La empresa acaba de modernizar los sistemas de control y excitación y ha instalado un nuevo sistema SCADA con acceso a distancia y un sistema de automatización 800xA. Esta página ilustra la enorme central con los sistemas de excitación situados sobre las turbinas de generación montadas en vertical (se ven las tapas en el suelo). La portada de la revista corresponde a la central italiana de ciclo combinado de Sorgenia Bertonico-Turano Lodigliano, para la que ABB ha suministrado un sistema de control Symphony Plus.

Un abanico de conmutadores

6 **Innovación revolucionaria**
El interruptor HVDC híbrido de ABB es una innovación revolucionaria que abre el camino a las redes HVDC fiables

14 **Abriendo camino**
Un interruptor con capacidad para conmutar 15 grandes centrales eléctricas

19 **El chip dos en uno**
El transistor bimodal de puerta aislada (BIGT)

24 **Admitancia fácil**
La función de protección de fallo a tierra definitiva para redes compensadas

29 **Contacto limpio**
Tecnología de contactores para conmutación de potencia y control de motores

Recursos mineros

35 **Respiración profunda**
Optimización del caudal de aire en las minas subterráneas

42 **A toda marcha**
Tecnología para mejorar la productividad de la minería

48 **Mina de información**
Integración de equipos móviles en la minería subterránea

Vigilancia y control

52 **El sistema OCTOPUS-Onboard**
Sistema de ABB para control del movimiento, predicción de la respuesta y apoyo a la decisión con mal tiempo

54 **Convergencia de las salas de control**
La fusión de la supervisión industrial y los sistemas de control con las operaciones de los centros de datos

59 **Virtualmente hablando**
Emulación de interfaz DCS-a-subsistema empleando SoftCI

64 **CRIM**
Identificación de la mejor estrategia de mantenimiento para plantas de procesamiento complejas

Eternos pioneros

70 **Del el arco de mercurio al interruptor híbrido**
100 años de electrónica de potencia

Tecnología de vanguardia

Prith Banerjee

Estimado lector:

Los conmutadores son la esencia de casi cualquier sistema eléctrico o electrónico. Desde los microprocesadores de lógica integrada de los sistemas de control en un extremo de la escala hasta los gigantescos interruptores que controlan las redes eléctricas en el otro, los equipos de conmutación están en la base de casi todas las actividades de ABB y, en realidad, de casi toda la tecnología. ABB investiga continuamente a forma de ensanchar los límites de la capacidad de conmutación para permitir nuevas aplicaciones. En muchos casos, esto obliga a forzar los límites de las aplicaciones actuales. De vez en cuando, surge una innovación revolucionaria que cambia las reglas del juego y redefine el mercado. El interruptor híbrido de CC pertenece sin duda a esta categoría.

ABB lleva varios decenios a la cabeza de la tecnología de CC de alta tensión (HVDC) que permite el transporte de electricidad con pérdidas reducidas y con un elevado grado de control a grandes distancias. La empresa va más allá de las líneas de transporte aisladas y cree que el esqueleto de la red eléctrica del futuro será una red HVDC. Igual que la CA, la CC necesita interruptores, por ejemplo, para aislar secciones enteras con seguridad en caso de alteraciones sin apagar todo el sistema. Pero hay grandes diferencias entre interrumpir la corriente alterna y la corriente continua que no pueden superarse cambiando la escala de las actuales soluciones para CA. ABB ha superado estas dificultades con un interruptor híbrido, llamado así porque combina la tecnología de conmutación convencional con los semiconductores. Esta tecnología acaba de ser reconocida por la MIT Technology Review como una de las 10 mayores innovaciones de 2012. El interruptor híbrido es el tema del primer artículo de este número de la *ABB Review*.

Dentro de este apartado, la revista recoge otros artículos sobre conmutación que cubren distintas aplicaciones y límites de potencia, desde la CA de alta tensión hasta el control de motores sin olvidar el nuevo dispositivo semiconductor de ABB: el BIGT, una de cuyas aplicaciones se encuentra en el interruptor híbrido. Siguiendo con la conmutación y sus aplicaciones, un artículo histórico repasa los cien años de actividad de la empresa en el campo de la electrónica de potencia. El centro de atención son los propios dispositivos de conmutación. Estamos preparando un reportaje sobre las aplicaciones para un próximo número.

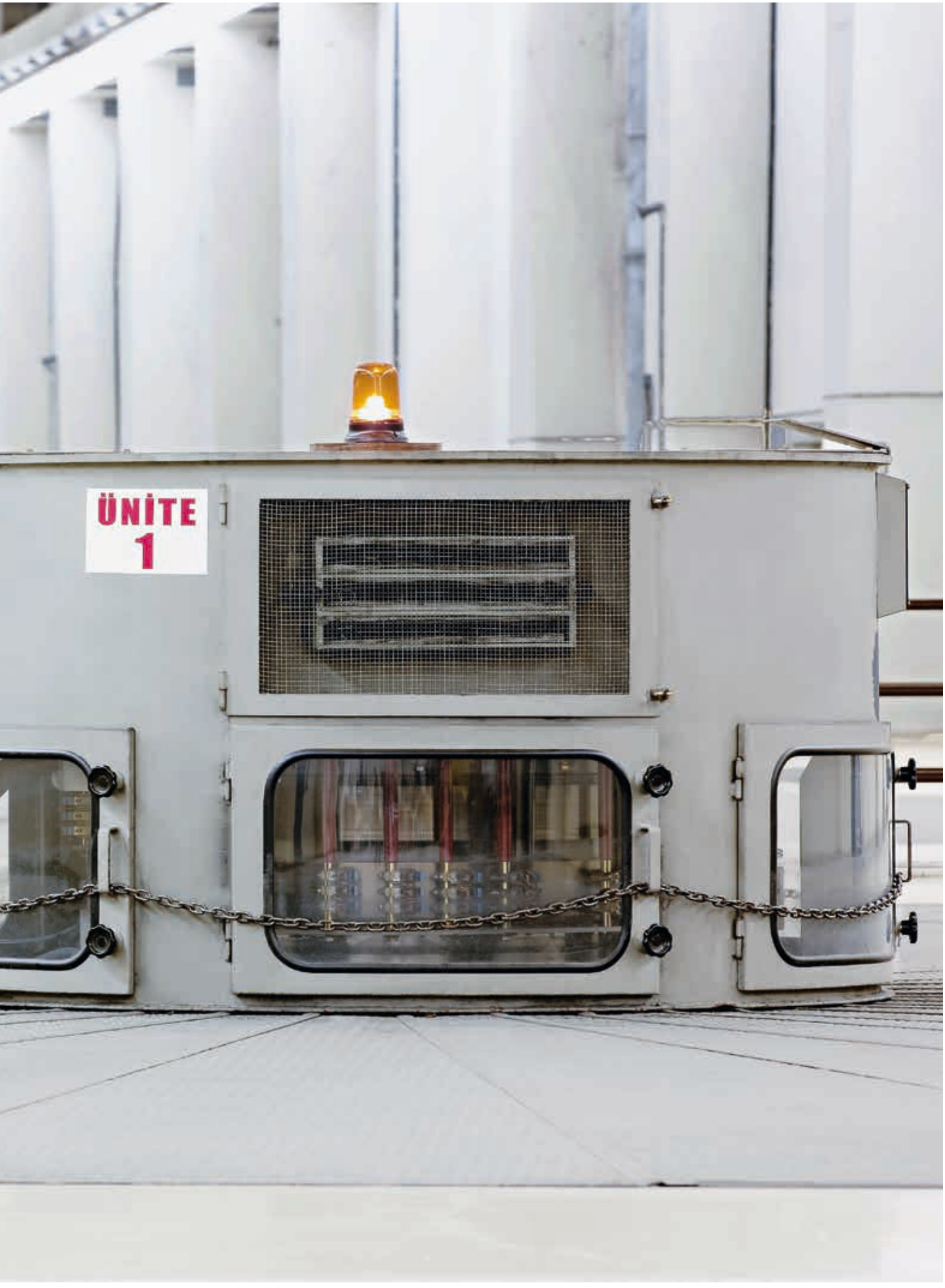
En otro orden de cosas, esta edición de la *ABB Review* recoge varios artículos sobre minería con una selección de aportaciones de ABB a este sector. Otros artículos se centran en las actividades de la empresa en campos como los buques para transporte pesado, los centros de datos, la simulación de grandes plantas de producción y la planificación del mantenimiento.

Pero la electricidad no es lo único que se conmuta. A partir de este número incorporaremos varios cambios a la propia revista. Los lectores de lenguas distintas del inglés notarán que el nombre ha cambiado a *ABB Review* para crear una identidad uniforme reconocible en todos los idiomas. Otra novedad para quienes lean la revista en formato electrónico es un boletín distribuido por correo electrónico pensado para que no se pierdan un solo número (puede suscribirse en el interior de la contraportada). En los próximos números anunciaremos otros cambios. Pese a esta evolución de la forma y la presentación, *ABB Review* sigue comprometida con el elevado nivel de su contenido.

Por último, y siendo este el último número de *ABB Review* durante mi mandato como Director de Tecnología de ABB, quisiera despedirme de todos los lectores confiando en que continuarán fieles a la revista.

Que disfrute de la lectura.

Prith Banerjee
Director de Tecnología
ABB Ltd.


ÜNİTE
1

JibPLUS

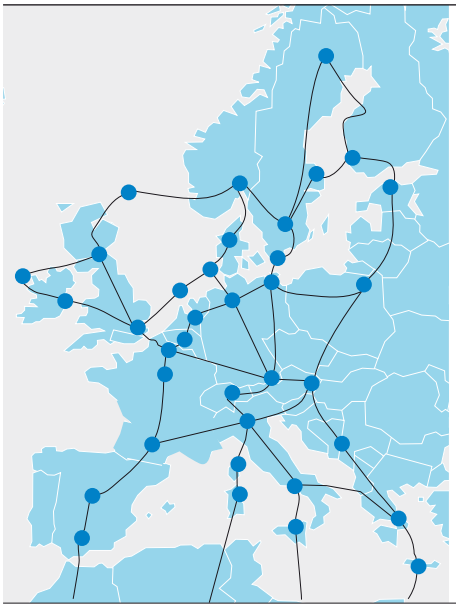
Innovación revolucionaria

El interruptor HVDC híbrido de ABB es una innovación revolucionaria que abre el camino a las redes HVDC fiables

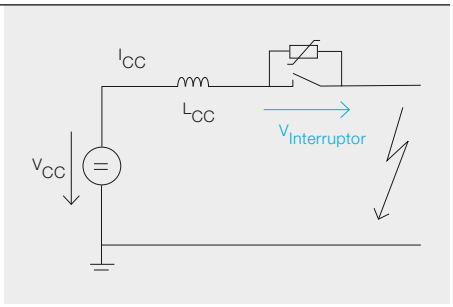
MAGNUS CALLAVIK, ANDERS BLOMBERG, JÜRGEN HÄFNER, BJÖRN JACOBSON –
ABB y las empresas que le precedieron fueron la avanzadilla de la tecnología HVDC (corriente continua de alta tensión), que permite el transporte de la electricidad a grandes distancias y con pérdidas reducidas. Todas las líneas HVDC tendidas hasta la fecha han sido enlaces punto a punto. Las posibilidades de esta tecnología se ampliarían mucho si pudiesen construirse líneas de más de dos terminales y avanzar hacia el tendido de redes HVDC. Pero la falta de un interruptor capaz de manejar las tensiones y las velocidades necesarias y con unas pérdidas aceptables había impedido hasta ahora el surgimiento de estas topologías en HVDC. Todo esto ha cambiado con el lanzamiento del nuevo interruptor HVDC de ABB.

Imagen del título
El interruptor híbrido de ABB es una de las mayores innovaciones en la historia de la empresa. Por fin, las redes de CC pueden convertirse en una realidad.

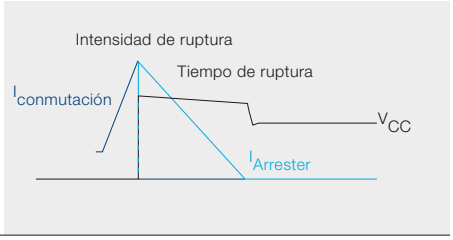
1 Representación de un interruptor de HVDC en una red de HVDC



1a Los puntos azules representan estaciones convertidoras en una red de HVDC



1b Interruptor de HVDC



1c Principio de funcionamiento

En comparación con las redes de CA de alta tensión, las pérdidas de potencia activa durante la conducción en líneas HVDC son relativamente bajas, y las pérdidas por potencia reactiva son nulas, lo que hace de las redes HVDC una propuesta muy atractiva para el transporte a larga distancia [1], una cuestión que cobra especial interés a la vista del rápido crecimiento de la generación a partir de fuentes renovables.

Pero el interruptor híbrido no necesita esperar hasta el desarrollo completo de redes HVDC para entrar en acción. Muchas de las actuales propuestas de transporte incluyen enlaces HVDC punto a punto en los que intervienen interruptores híbridos. Además de convertir la electricidad, las centrales de conversión HVDC pueden contribuir al mismo tiempo a la estabilidad de las redes de CA controlando la potencia reactiva. Si el convertidor puede desconectarse rápidamente de la línea HVDC en caso de avería, la central convertidora puede entrar directamente en funcionamiento autónomo como unidad de compensación estática (STATCOM) y seguir apoyando la estabilidad de la red de CA.

Los interruptores de HVDC deben cumplir unas exigencias técnicas elevadas. El tiempo permitido para interrumpir una corriente es más breve que en el caso de una aplicación de CA comparable debido a la menor impedancia de las líneas (esto significa que la caída de tensión causada por un fallo puede propagarse más deprisa). Normalmente, un cortocircuito debe solucionarse en 5 ms para no afectar a centrales convertidoras situadas hasta a 200 km. Como las centrales convertidoras se basan por lo general en una tensión de CC de al menos el 80 por ciento del valor nominal para garantizar el funcionamiento normal, los fallos deben superarse en tiempos del orden de milésimas de segundo.

Un tiempo de aislamiento más corto plantea menos requisitos de disipación de la corriente en la batería de descargadores, pero exige más capacidad de tensión en el descargador.

Un interruptor HVDC exclusivamente mecánico puede retirar una línea en varias decenas de milésimas de segundo, un tiempo excesivo para cumplir los requisitos de una red HVDC fiable [2]. Pero se utilizan interruptores mecánicos para aplicaciones como la extinción de corrientes de fallo. Otro inconveniente de los interruptores mecánicos es que necesitan más componentes para generar el cruce de la corriente cero, de modo que ésta deja de fluir.

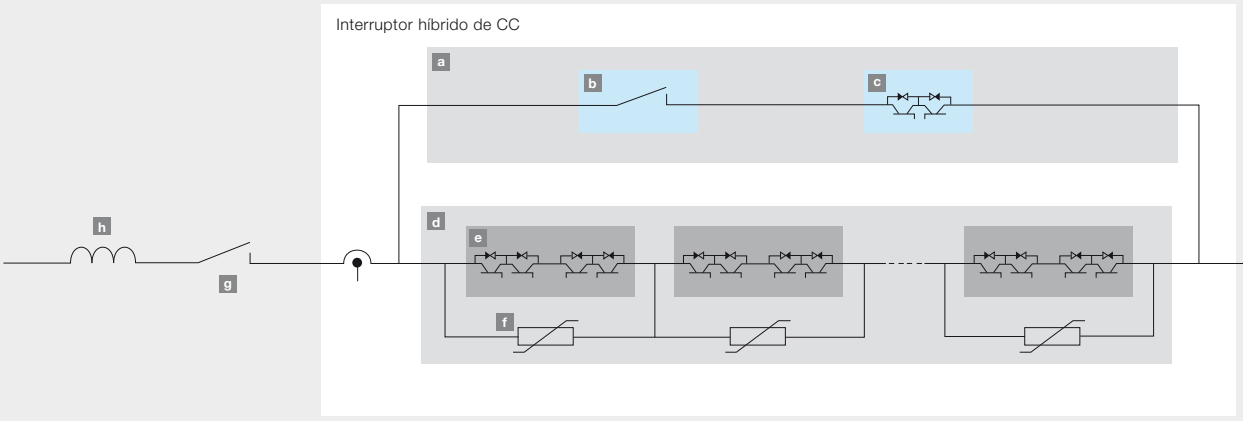
Los interruptores HVDC basados en semiconductores pueden superar fácilmente la limitación de la velocidad de funcionamiento; pero como los semiconductores permanecen siempre en la trayectoria de la corriente, generan pérdidas de conducción que suelen ser del orden del 30 por ciento de las pérdidas de la estación convertidora.

En la figura ➔ 1a se ilustra una red HVDC. En ➔ 1b se recoge un circuito con un interruptor HVDC mecánico, y en ➔ 1c se representan los transitorios que se producen durante la interrupción. La intensidad empieza a aumentar cuando se produce el fallo (la velocidad del aumento está determinada por la inductancia del reactor de la línea). Cuando se abre el interruptor, la corriente se conmuta al descargador y empieza a disminuir. La corriente de fallo de la batería de descargadores crea una contratensión que reduce la corriente de fallo a cero disipando la energía almacenada en el reactor HVDC y en la trayectoria de la corriente de fallo.

El tiempo total de aislamiento del fallo comprende:

– el tiempo durante el cual la corriente aumenta antes de conmutación;
– La duración de su disminución mientras se aísla la línea.

2 Interruptor híbrido de HVDC



a La rama de la corriente principal (cuando circula corriente) incluye:
b Interruptor de HVDC con seccionador mecánico rápido
c Conmutador de carga (basado en semiconductores)

d Interruptor principal de HVDC compuesto por:
e Interruptor de semiconductores
f Batería de descargadores

g Interruptor de corriente residual
h Reactancias de limitación de intensidad

Los dos tiempos son importantes para el diseño y el coste del interruptor HVDC y del reactor de la línea.

El tiempo de corte está determinado por el tiempo de respuesta de la protección y por el tiempo de accionamiento del conmutador HVDC. Un tiempo de interrupción más largo exige que el conmutador HVDC tenga una capacidad máxima de interrupción de corriente más alta. Esto también aumenta la energía que manipula el descargador y, en consecuencia, incrementa el coste del interruptor HVDC. Por tanto, es importante acortar todo lo posible el tiempo de interrupción. Cuando el tiempo de interrupción y la capacidad máxima de intensidad de interrupción están determinados, el único parámetro ajustable que queda es la inductancia del reactor HVDC (que regula la velocidad de aumento de la corriente). El tamaño del reactor HVDC puede a su vez estar limitado por muchos factores, como el coste y la estabilidad de la red HVDC.

El tiempo permitido para el aislamiento de fallos afecta a la capacidad de tensión necesaria del descargador y a la protección de la tensión del polo. Un tiempo de aislamiento más corto plantea menos requisitos de disipación de la corriente en la batería de descargadores, pero exige más capacidad de tensión en el descargador. Esto se materializa en una tensión nominal entre polos mayor que aumenta el coste del interruptor HVDC.

El ejemplo siguiente proporciona una impresión general de la relación entre los parámetros mencionados. Suponiendo un tiempo de interrupción de 2 ms, que es posible para un conmutador HVDC a base de semiconductores, y una línea de fallo HVDC próxima al patio de maniobras HVDC, el aumento máximo de la intensidad de fallo será de 3,5 kA/ms para un reactor HVDC de 100 mH en una red HVDC de 320 kV con una sobretensión máxima del 10 por ciento. Para una intensidad de línea nominal de 2 kAk la capacidad mínima de interrupción necesaria del interruptor HVDC sería de 9 kA.

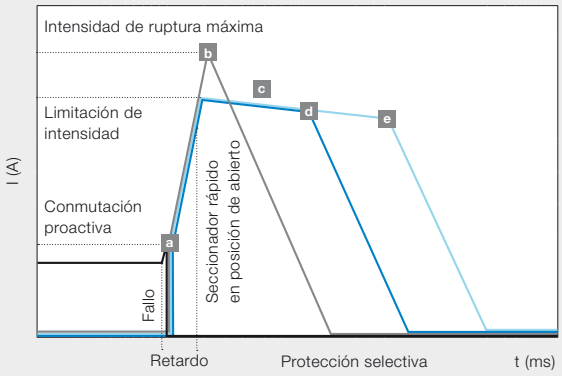
El interruptor HVDC híbrido

El interruptor HVDC híbrido ➔ 2 se basa en la disposición ilustrada en ➔ 2b, pero tiene la ramificación complementaria ➔ 2a. Esta ramificación consta de un conmutador de carga semiconductor ➔ 2c conectado en serie a un seccionador mecánico rápido ➔ 2b.

Durante el funcionamiento normal, la corriente circula únicamente por la derivación ➔ 2a. Cuando se produce un fallo de HVDC, la conmutación de carga desvía inmediatamente la corriente hacia el interruptor HVDC principal ➔ 2d. Como la ramificación ➔ 2a ya no lleva corriente alguna, el seccionador ➔ 2b se abre y de este modo protege el conmutador de carga ➔ 2c de la tensión del primario, que aumenta en el interruptor HVDC principal. Por tanto, la tensión necesaria de la conmutación de carga se reduce sustancialmente en comparación con un componente que permanece en la trayectoria principal de la corriente durante el ciclo de conmutación. La tensión nominal solo debe superar la tensión del interruptor HVDC principal en estado activado, que

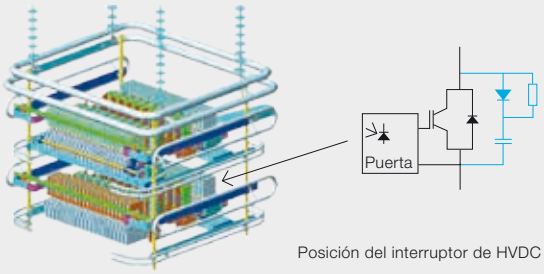
Además de convertir la electricidad, las estaciones convertidoras HVDC pueden contribuir simultáneamente a la estabilidad de la red de CA mediante el control de la potencia reactiva.

3 Control del interruptor híbrido de HVDC

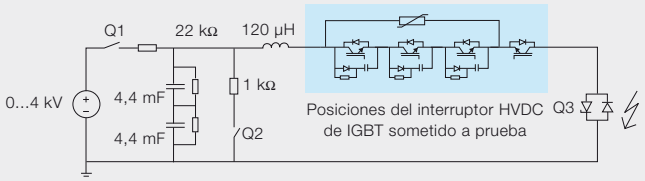


a El LCS se abre (LCS: conmutador de carga)
b Protección de intensidad máxima del interruptor principal de HVDC
c Limitación de intensidad
d Señal externa de disparo de protección selectiva del interruptor principal de HVDC
e Protección de temperatura máxima del interruptor principal de HVDC

Diseño de célula de interruptor principal de HVDC de 80 kV



5 Circuito de prueba de componentes de interruptor HVDC



normalmente es del orden de un kilovoltio para un interruptor HVDC de 320 kV. Teniendo en cuenta esta reducida tensión de bloqueo de carga, la tensión en estado activado del conmutador de carga es típicamente del orden de solo algunos voltios. Las pérdidas en estado activado del interruptor HVDC híbrido se reducen, pues, a un porcentaje de las pérdidas de un interruptor semiconductor puro, o al 0,01 por ciento de la potencia transmitida.

El interruptor HVDC principal semiconductor → 2d se separa en varias secciones con baterías individuales de descargadores → 2f dimensionadas para la capacidad máxima de interrupción de tensión e intensidad. Una vez aislada la avería, un interruptor seccionador de circuito → 2g interrumpe la corriente residual y aísla la línea averiada de la red HVDC para proteger las baterías de descargadores de la sobrecarga térmica.

El conmutador mecánico → 2b se abre con intensidad cero y a una tensión reducida, y por tanto puede trabajar como seccionador con un sistema de contactos ligero. El seccionador rápido no quedará expuesto a la tensión máxima entre polos definida por el nivel de protección de las baterías de descargadores hasta después de alcanzada la posición abierta. Los accionamientos Thomson [4] determinan tiempos de apertura breves y un diseño de seccionador compacto usando SF_6 como medio de aislamiento.

El control proactivo del interruptor HVDC híbrido permite compensar la demora del seccionador rápido si el tiempo de apertura del seccionador es inferior al tiempo necesario para la protección selectiva. La conmutación proactiva de la intensidad se inicia en la protección de sobrecorriente incorporada al interruptor HVDC híbrido en cuanto la intensidad de la línea HVDC supera un valor predefinido de sobreintensidad → 3a. El interruptor HVDC principal demora la interrupción de la corriente hasta que recibe una señal de disparo o hasta que la corriente de la línea averiada está próxima a la capacidad máxima de interrupción de intensidad del interruptor HVDC principal → 3b.

Para prolongar el tiempo antes de que la función de autoprotección del interruptor HVDC principal dispare el interruptor HVDC híbrido, el interruptor HVDC principal puede funcionar en modo de limitación de la intensidad antes de la interrupción → 3c. El interruptor HVDC principal controla la caída de tensión en el reactor HVDC hasta cero para evitar una nueva elevación en la intensidad de la línea. La duración máxima del modo de limitación de la intensidad depende de la capacidad de disipación de la energía de las baterías de descargadores → 3d.

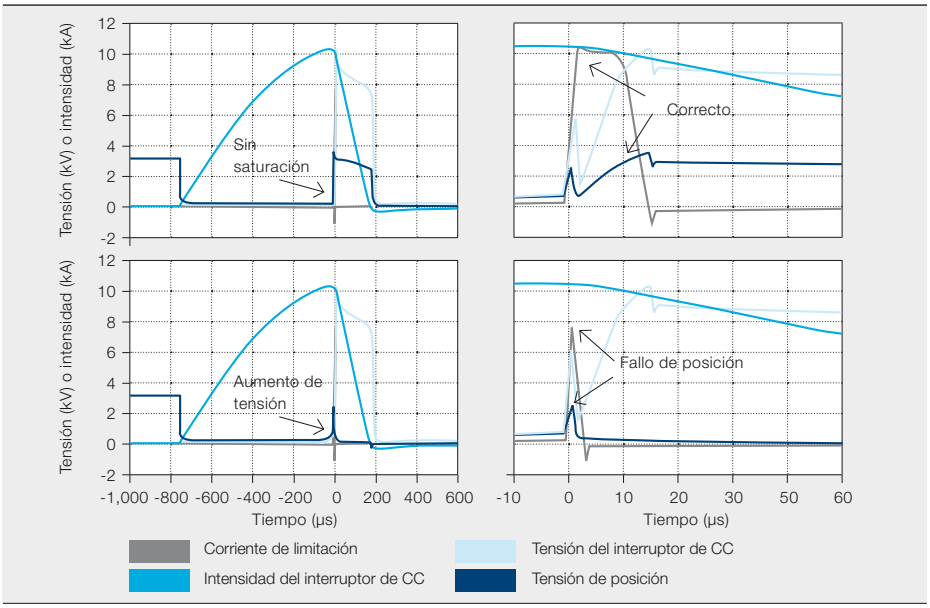
Es posible una protección de reserva rápida similar a la de un interruptor semiconductor puro para los interruptores HVDC híbridos del patio de maniobras HVDC. La sobrecorriente de la línea o la protección del patio de maniobras de nivel superior puede activar la transferencia de intensidad desde la derivación hacia al interruptor HVDC principal o hacia los posibles interruptores de reserva antes de la señal de disparo de la protección de reserva. En caso de fallo del interruptor, los interruptores de reserva pueden activarse casi instantáneamente, por lo general en menos de 0,2 ms. Esto evita perturbaciones mayores en la red HVDC y mantiene la capacidad necesaria de corte de corriente del interruptor de reserva en un valor razonable.

> El control proactivo del interruptor HVDC híbrido permite compensar la demora del seccionador rápido si el tiempo de apertura del seccionador es inferior al tiempo necesario para la protección selectiva.

Diseño del prototipo

El prototipo de interruptor HVDC híbrido se ha diseñado para una capacidad de interrupción de 9,0 kA en una red HVDC

6 Pruebas de cargas máximas en las posiciones de interruptor HVDC de IGBT (los trazos de la derecha han sido aumentados de tamaño)



El conmutador mecánico se abre cuando la corriente es cero y con un esfuerzo de tensión reducido y, por tanto, puede construirse como seccionador con un sistema de contactos ligero.

con una tensión nominal de 320 kV y una intensidad nominal de transporte de 2 kA. La capacidad de interrupción máxima es independiente de la intensidad nominal, y depende únicamente del diseño del interruptor HVDC principal. El seccionador rápido y el interruptor HVDC principal se han diseñado para tensiones de conmutación de más de 1,5 p.u. para tener en cuenta las elevadas tensiones transitorias que se producen durante el corte de la corriente.

El interruptor HVDC principal ➔ 2d consta de varias celdas de interruptores HVDC con baterías de descargadores individuales que limitan la tensión máxima en cada celda ➔ 2e a un valor concreto durante la interrupción. Cada celda del interruptor HVDC contiene cuatro pilas de interruptores HVDC ➔ 4.

Hacen falta dos pilas para interrumpir la corriente en cualquiera de las direcciones de ésta.

Cada pila está formada por hasta 20 posiciones de corte HVDC IGBT conectadas en serie. Debido al gran esfuerzo di/dt durante la interrupción de la corriente, se ha adoptado un diseño mecánico con baja inductancia parásita. La aplicación del paquete de IGBT con una tensión nominal de 4,5 kV [6] permite crear una pila de diseño compacto y garantiza un modo estable de fallo por cortocircuito en caso de avería de un componente individual. RCD individuales de seguridad montados en cada módulo IGBT garantizan la distribución igualitaria de la tensión durante la interrupción de la corriente. Las unidades de puerta de accionamiento óptico permiten el funcionamiento del interruptor HVDC IGBT con independencia de las condiciones de intensidad y tensión de la red HVDC. Las pilas de IGBT no necesitan sistema de refrigeración, pues las celdas del interruptor HVDC principal no están expuestas a la corriente de la línea durante el funcionamiento normal.

Para el diseño del conmutador de carga ➔ 2c basta un módulo interruptor HVDC IGBT por cada dirección de la corriente para cumplir los requisitos de la tensión nominal. La conexión en paralelo de módulos IGBT aumenta la intensidad nominal del interruptor HVDC híbrido. Los módulos de interruptor HVDC IGBT redundantes conectados en serie mejoran la fiabilidad del conmutador de carga. Para este diseño se escogió una matriz de 3 × 3 posiciones IGBT para cada dirección de la corriente. Hace falta un sistema de refrigeración, pues el conmutador está expuesto continuamente a la corriente de la línea.

Cada pila está formada por hasta 20 posiciones de interrupción HVDC IGBT conectadas en serie.

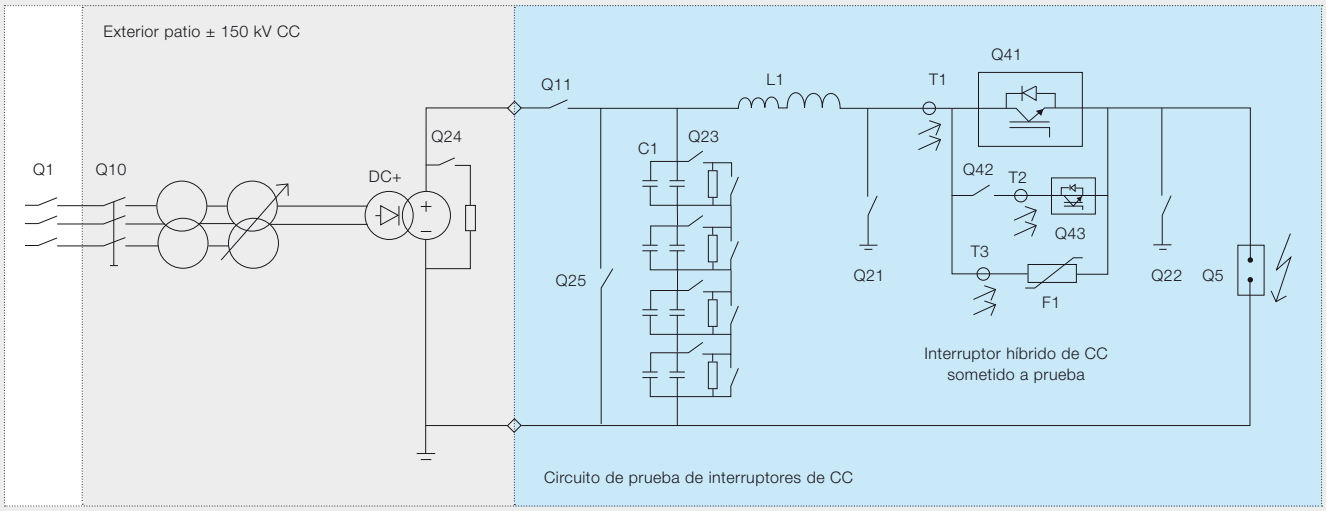
Resultados de las pruebas

Se utilizó un prototipo a escala reducida de la celda del interruptor principal con tres módulos IGBT conectados en serie y una batería común de descargadores para verificar la capacidad de interrupción de corriente de los IGBT StakPak de 4,5 kV [6] en el primer circuito de prueba ➔ 5.

Se conectó un cuarto módulo IGBT en la dirección contraria de la corriente primaria para verificar el funcionamiento del diodo antiparalelo incorporado. La descarga de un banco de condensadores por un tiristor, limitada solo por un reactor CC menor, representó los fallos de polo a tierra en la red HVDC.

La capacidad máxima de interrupción de corriente de la celda del interruptor HVDC IGBT está determinada por la corriente de saturación de los módulos IGBT ➔ 6 (no por el área de funcionamiento seguro, como es normal en aplicaciones de convertidor de fuente de tensión). Las posiciones IGBT conectadas en serie del interruptor HVDC pueden conmutar la corriente de la línea de los circuitos de seguridad RCD en 2 µs, limitando así la velocidad de aumento de la tensión en las posiciones a 300 V/µs. La conmutación a tensión cero reduce las pérdidas por conmutación instantánea y garantiza una distribución uniforme de la tensión con independencia de las tolerancias de las características de conmutación de los módulos IGBT aplicados.

7 Circuito encapsulado de prueba de interruptores de HVDC de ABB



Las pruebas de verificación satisfactorias a nivel de dispositivo y de componente demostraron el rendimiento de los componentes. Ahora el interruptor HVDC híbrido completo se ha verificado en una instalación de demostración en ABB.

La corriente de línea conmuta desde el circuito de seguridad RCD a la ruta del descargador una vez que la tensión común en las posiciones del interruptor HVDC IGBT ha alcanzado el nivel de protección de la batería de descargadores.

Las posiciones del interruptor HVDC IGBT pasaron las pruebas de esfuerzo para intensidades de interrupción inferiores a 10 kA.

Para intensidades mayores, la corriente de saturación del IGBT provoca una caída inmediata de tensión a lo largo de los módulos IGBT. Durante una prueba destructiva intencionada, la disipación de calor en el interior del módulo IGBT destruyó los chips IGBT encapsulados. Debido al uso de IGBT empaquetados, se creó un cortocircuito fiable sin destrucción mecánica del módulo IGBT fallido. Como durante la prueba solo falló uno de los módulos IGBT, la avería pudo ser aislada por los otros dos módulos.

La tensión HVDC nominal en cada celda del interruptor HVDC IGBT es de 80 kV.

Debido al elevado valor de tensión, la segunda instalación de prueba necesitó mucho más espacio. El circuito de prueba del concepto del interruptor HVDC híbrido se ilustra en → 7.

La tensión HVDC deseada se creó cargando el banco de condensadores C1.

El reactor L1 se eligió para garantizar la derivada de la intensidad esperada (di/dt) durante un fallo de cortocircuito. El fallo de cortocircuito se inició con el salto de la chispa Q5.

En → 8 se ilustra un resultado de prueba típico.

Se verificó una corriente de interrupción máxima de 9 kA. La tensión en la celda del interruptor HVDC fue superior a 120 kV durante la conmutación de la corriente. Por tanto, la capacidad de interrupción de una celda HVDC de 80 kV es superior a 1 GVA.

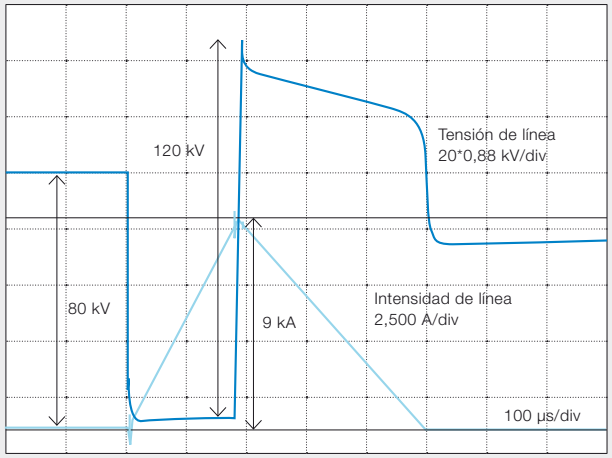
Además, solo se observó una distribución igualitaria de la tensión con una caída de tensión máxima de 3,3 kV y una dispersión inferior al 10 por ciento para las posiciones IGBT individuales del interruptor HVDC de la celda del interruptor HVDC.

La introducción de la tecnología de transistor de puerta aislada bimodal (BIGT) duplicará la capacidad de interrupción de corriente de los módulos empaquetados.

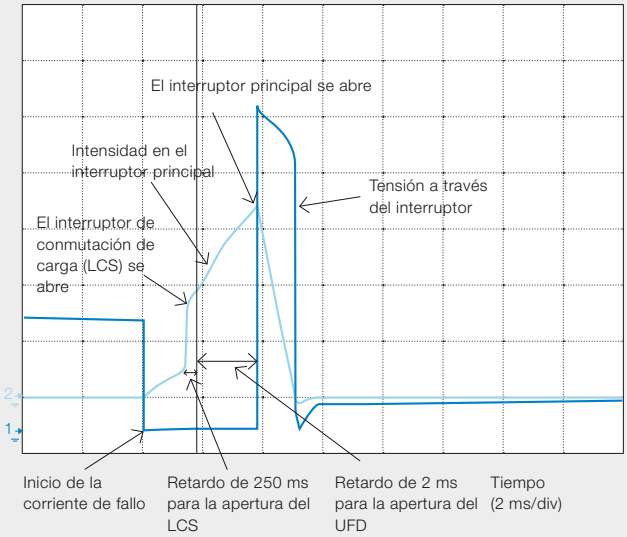
Resultados de las pruebas

La configuración de pruebas del interruptor principal se amplió para verificar el concepto completo de interruptor HVDC híbrido. Se instalaron un segundo banco de condensadores y grandes reactores para limitar la velocidad del aumento de la corriente de línea a los valores típicos de

8 Verificación de la célula de interruptor modular de HVDC de IGBT



9 Verificación del sistema de interruptor híbrido de HVDC



una red HVDC. Se incluyeron en la configuración del sistema el seccionador ultrarrápido y el conmutador de carga.

La verificación satisfactoria a nivel de dispositivo y de componente ha demostrado el comportamiento de los componentes. Ahora, el interruptor HVDC híbrido completo se ha verificado en una instalación de demostración en ABB. En ➔ 9 se ilustra un episodio de corte con una intensidad máxima de 9 kA y una demora de 2 ms para la apertura del seccionador ultrarrápido en la rama paralela al interruptor principal.

La intensidad máxima nominal de fallo de 9 kA es el límite de la actual generación de semiconductores. La próxima generación admitirá el corte de corrientes de hasta 16 kA.

La finalidad de las pruebas era verificar el funcionamiento de conmutación de los componentes electrónicos de potencia y la velocidad de apertura del seccionador mecánico ultrarrápido. El conjunto probado estaba formado por una celda de interruptor principal unidireccional de 80 kV junto con el seccionador ultrarrápido y el conmutador de carga. La elevada tensión se consigue conectado en serie varias células de interruptor. Las pruebas no se han limitado a los incidentes normales de interrupción, sino que han cubierto también situaciones en las que fallan componentes del interruptor.

Perspectivas futuras

La aparición de tecnologías de transistor de puerta aislada bimodal (BIGT) [7] que incorporan la función de diodo de conducción inversa en los chips IGBT duplicará la capacidad de corte de corriente de los actuales módulos empaquetados (véase también “El chip dos en uno”, en las páginas 19–23 de este número de la *Revista ABB*).

Los interruptores HVDC rápidos, fiables y con pérdidas casi nulas y los limitadores de corriente basados en el concepto de interruptor HVDC híbrido se han verificado a nivel de componentes y del sistema para tensiones HVDC de hasta 320 kV y tensiones nominales de 2 kA, y de este modo se ha eliminado un importante obstáculo que impedía la realización de redes HVDC. El siguiente paso es probar el interruptor en una línea de transporte HVDC real.

Magnus Callavik
ABB Grid Systems
Vasteras, Suecia
magnus.callavik@se.abb.com

Anders Blomberg
Antes en ABB Grid Systems

Jürgen Häfner
ABB Grid Systems
Ludvika, Suecia
jurgen.hafner@se.abb.com

Björn Jacobson
ABB Grid Systems
Pekín. China
bjorn.jacobson@cn.abb.com

Referencias

[1] E. Koldby, M. Hyttinen “Challenges on the Road to an Offshore HVDC Grid,” (Nordic Wind Power Conference, Bornholm, Sept. 2009)

[2] A. Ekstrom, H. Hartel, H. P. Lips, W. Schultz, D. Kind “Design and testing of an HVDC circuit breaker,” (Cigre session 1976, paper 13–06)

[3] C.M. Franck “HVDC Circuit Breakers: A Review Identifying Future Research Needs,” (IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 26, pp. 998–1007, abril de 2011)

[4] J. Magnusson, O. Hammar, G. Engdahl “Modelling and Experimental Assessment of Thomson Coil Actuator System for Ultra Fast Mechanical Switches for Commutation of Load Currents,” (International Conference on New Actuators and Drive Systems, Bremen, 14–16 de junio de 2010)

[5] G. Asplund “HVDC switch for current limitation in a HVDC transmission with voltage source converters,” (patente europea EP0867998B1)

[6] S. Eicher, M. Rahimo, E. Tsyplakov, D. Schneider, A. Kopta, U. Schlapbach, E. Caroll “4.5 kV Press Pack IGBT Designed for Ruggedness and Reliability,” (IAS, Seattle, octubre de 2004)

[7] M. Rahimo, A. Kopta, U. Schlapbach, J. Vobecky, R. Schnell, S. Klaka “The Bi-mode Insulated Gate Transistor (BiGT) A potential technology for higher power applications,” (Proc. ISPSD09, p. 283, 2009)

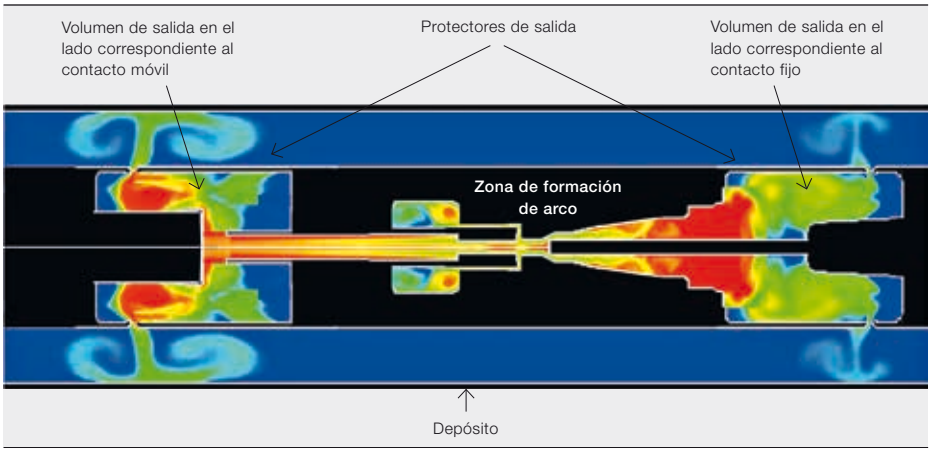
[8] J. Hafner, B. Jacobson, “Proactive Hybrid HVDC Breakers – A key innovation for reliable HVDC grids,” (Cigre Bologna, Paper 0264, 2011) J. Hafner, B. Jacobson, “Martillos HVDC Híbridos Proactivos-UNA innovación clave para redes fiables y HVDC,” (Cigre Bologna, papel 0264, 2011)

Abriendo camino

Un interruptor con capacidad para conmutar 15 grandes centrales eléctricas

HELMUT HEIERMEIER, RETO KARRER – Las redes eléctricas que cruzan los paisajes y llevan electricidad a ciudades y pueblos están en constante evolución. En particular, las tensiones operativas están aumentando para reducir al mínimo las pérdidas durante el transporte. Esto impone mayores exigencias a los componentes críticos que controlan y protegen estas redes: los interruptores. En el centro del interruptor está la cámara donde se produce físicamente la separación de los circuitos. Las cambiantes condiciones técnicas y del mercado y las nuevas normas internacionales han planteado la necesidad de desarrollar una nueva generación de interruptores.

1 Ejemplo de una simulación de cálculo de dinámica de fluidos de un interruptor de circuito encapsulado en metal



Las redes que mantienen el flujo de la vital energía eléctrica trabajan a tensiones cada vez mayores para minimizar las pérdidas durante el transporte y el impacto ambiental. Esta mayor tensión, junto con otras exigencias, hacen que el interruptor, un componente clave para la protección y el control de las redes, deba evolucionar. La disponibilidad del interruptor tiene una importancia decisiva, pues afecta directamente a la fiabilidad de la propia red.

Disminuir el número de componentes del interruptor y la energía necesaria para su accionamiento disminuye el riesgo de apagones inesperados. Si además puede reducirse el tamaño del interruptor, se reducirán también los costes y las necesidades de espacio.

Teniendo esto en cuenta, ABB empezó a desarrollar un nuevo interruptor de una sola cámara para redes de 420 kV. Este nuevo interruptor debe cumplir las más avanzadas normas internacionales IEC y ANSI/IEEE, así como los requisitos especiales conocidos de los distintos mercados internacionales. Como es de esperar que en el futuro aumenten las intensidades nominal y de cortocircuito que deben manejarse, el diseño se ha centrado en una intensidad nominal de 5 kA y en una intensidad de cortocircuito de 63 kA con frecuencias de 50 Hz y 60 Hz.

Se plantearon además los requisitos siguientes:

- Tamaño reducido de la bahía (una bahía completa debe caber en un contenedor normalizado).
- Capacidad de conmutación de fallo de línea sin necesidad de condensador de línea a masa.
- Disminución del volumen de gas SF_6.
- Minimización de las fuerzas de reacción (efecto sobre edificios y cimentaciones).
- Unidad pequeña y normalizada.
- Tiempo de interrupción de dos ciclos.

Interruptores

Un interruptor es un componente notable. Tiene que admitir intensidades que van desde 1 A hasta varias decenas de miles de amperios; tiene que resistir un amplio espectro de comportamientos de la tensión, desde incrementos rápidos hasta esfuerzos prolongados de CA; debe ejecutar operaciones de conmutación normales e interrumpir con urgencia corrientes de cortocircuito; debe permanecer inactivo durante mucho tiempo y ser capaz de ejecutar un corte de urgencia en unas milésimas de segundo.

Diseñar un nuevo interruptor

Al diseñar un interruptor nuevo y tomar decisiones sobre una nueva tecnología hay que tener en cuanta muchos factores distintos.

Capacidad de conmutación capacitiva

Esta tarea se caracteriza por intensidades relativamente pequeñas pero tensiones muy altas entre los contactos del interruptor; por tanto, hace falta una elevada capacidad de resistencia a la tensión dinámica. La capacidad de resistencia a la tensión debe ser superior a la tensión en aumento de la red durante la apertura del interruptor. Esto puede imaginarse como una carrera entre la apertura de los contactos y el aumento transitorio de la tensión. Es esencial que esta carrera la gane el interruptor, pues la tensión no puede interrumpirse si esta operación provoca un aumento del voltaje que ponga en peligro los componentes de la subestación y el tendido aéreo. En otras palabras: este nuevo interruptor debe tener una velocidad de contacto muy alta para que se alcance una capacidad de

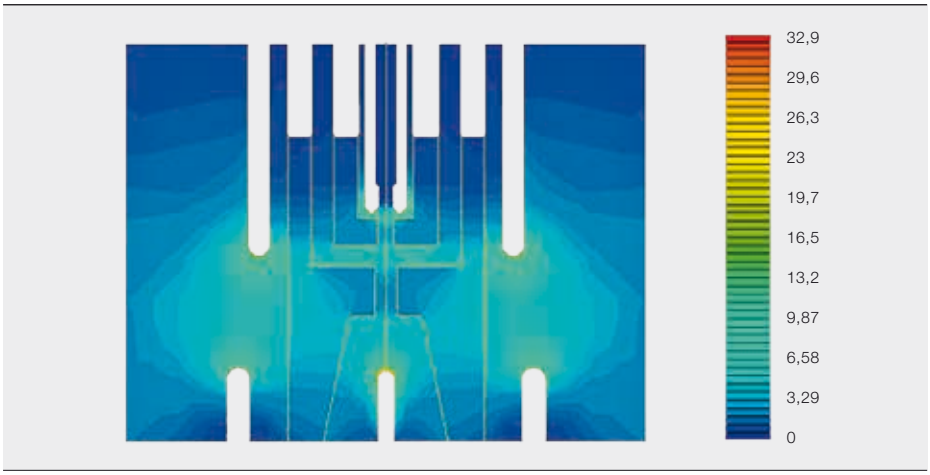
Disminuir el número de componentes del interruptor y la energía necesaria para su accionamiento disminuye el riesgo de apagones inesperados. Además, los interruptores más pequeños reducen los costes y el espacio ocupado.

Imagen del título

La tensión creciente de las líneas eléctricas está impulsando el desarrollo de la tecnología de alta tensión. ¿Cómo responden los interruptores más avanzados?

El objetivo del diseño era un interruptor de una sola cámara para redes de 420 kV con una intensidad nominal de 5 kA, una intensidad de cortocircuito de 63 kA y sin necesidad de condensador de línea a tierra.

2 Ejemplo de simulación de un campo eléctrico en la zona de formación de arco



resistencia dieléctrica muy elevada en muy poco tiempo.
En las normas internacionales, este aspecto está cubierto por un procedimiento de ensayo muy detallado y un programa de pruebas muy amplio.

Capacidad de interrupción del fallo de línea por corto

Esto exige una elevada presión del gas en el volumen situado entre los contactos del interruptor para que la capacidad de refrigeración sea suficiente para extinguir el arco y la interrupción sea correcta. Este aumento de la presión es un elemento clave de la capacidad de aislamiento rápido. Un interruptor de una sola cámara diseñado para una capacidad de interrupción de cortocircuito elevada exige una presión de separación elevada.

Se evaluaron materiales y técnicas de producción nuevos para identificar un producto de coste comparable al de la oferta habitual.

Capacidad de interrupción del fallo de terminal

Como uno de los requisitos es mantener el tiempo de interrupción dentro de dos ciclos, hace falta un tiempo de apertura breve, lo que exige requisitos de asimetría mayores que en interruptores anteriores. La interrupción con un grado de asimetría muy elevado determina un aumento de la presión que deben resistir la unidad y el sistema de escape y boquilla. Para este nuevo interruptor, esto significa manejar con seguridad aportes de energía elevados en la zona del arco y en el sistema de escape.

Requisitos de fallo limitados por transformador

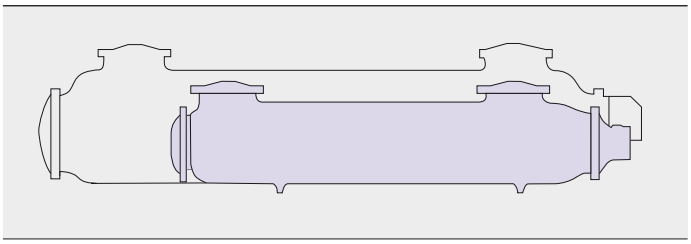
Este requisito especial, que debe cumplirse en algunas zonas, se plantea cuando una fracción (del 7 al 30 por ciento) de la intensidad nominal de cortocircuito se combina con una velocidad muy alta de aumento de la tensión de recuperación (la tensión que aparece entre los terminales después de la interrupción de la corriente).
Para resistir un esfuerzo tan elevado es necesario crear muy deprisa una gran capacidad de resistencia a la tensión dinámica después de la interrupción de la corriente. Para ello, el gas caliente situado entre los contactos del arco debe sustituirse por gas frío lo más deprisa posible.

Elección de una tecnología de conmutación

Los interruptores actuales se presentan en distintas variantes, cada una con sus propias ventajas:
- Interruptores sopladores
- Interruptores sopladores avanzados
- Interruptores de autodisparo asistidos por soplador
- Interruptores de autodisparo puro
- Interruptores de autodisparo con sistema móvil lineal doble

3 Se llevó a cabo una evaluación completa en laboratorio de los diseños de prueba.

4 El volumen del interruptor se redujo considerablemente



5 Primera instalación en Suiza: antigua (derecha) comparada con la nueva (izquierda).

– Interruptores de autodisparo con sistema móvil no lineal doble

En el desarrollo del nuevo interruptor se han combinado las cualidades de estos conceptos y se ha llegado a un interruptor soplador avanzado con un sistema móvil no lineal doble. Este enfoque tiene ventajas:

– Velocidad de contacto elevada y ajustable.
– Masas en movimiento reducidas y, por tanto, fuerzas de reacción también reducidas.
– Tiempos de apertura muy rápidos (con un sistema de muelle e hidráulico normal de baja energía).
– Baja relación entre aumento de presión sin carga y presión máxima (que determina bajas temperaturas del gas de extinción durante el corte de la corriente).
– Bajo esfuerzo mecánico en los componentes móviles gracias a la reducida velocidad de algunos de ellos.
– Pese al mayor grado de asimetría, el aumento máximo de presión no somete los componentes del arco a un esfuerzo mecánico excesivo, pues puede limitarse la presión máxima generada.

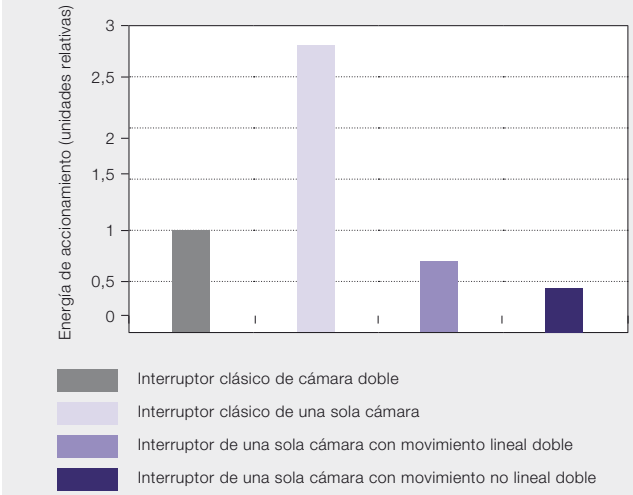
Las fuerzas de reacción son menores que con otras soluciones, por lo que la infraestructura física es menos costosa.

Durante el desarrollo se recurrió continuamente al software de simulación para imitar distintos efectos físicos, como el flujo, el aumento de la presión y los campos eléctricos, durante la interrupción de la corriente ➔ 1 – 2.

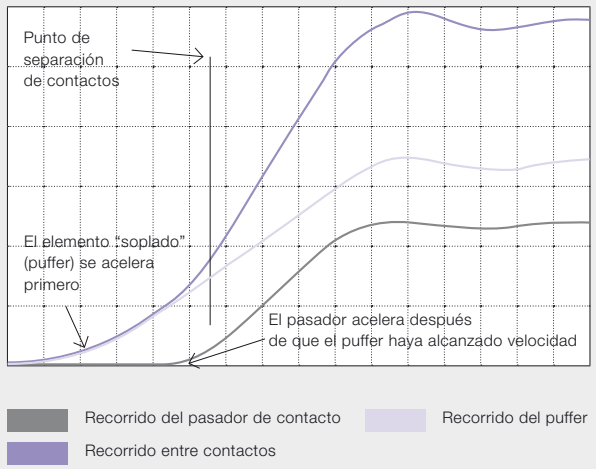
En el análisis mecánico se emplearon herramientas del método de elementos finitos (FEM). Los objetos ensayados estaban provistos de varios sensores de medida para obtener datos con los que mejorar y verificar las herramientas de simulación. También se hicieron pruebas

Se redujo un 50 por ciento la energía de activación, un 50 por ciento el volumen de la bahía y un 30 por ciento el volumen de SF_6.

6 Una comparación de la energía de accionamiento necesaria (unidades relativas)



7 El esquema de conmutación (ejes en unidades relativas). Las características de conmutación están de acuerdo con las últimas normas IEC e IEEE.



En el desarrollo se recurrió al software de simulación para imitar distintos efectos físicos, como el flujo, el aumento de la presión y los campos eléctricos, durante el corte de la corriente. Las herramientas FEM contribuyeron al análisis mecánico.

para determinar los límites del dispositivo ensayado. Paralelamente al desarrollo, se evaluaron materiales y técnicas de producción nuevos para identificar un producto de coste comparable a un instrumento convencional ➔ 3.

Resultados del proyecto

El desarrollo alcanzó o superó los objetivos cuando se comparó con la generación anterior de interruptores:

– Disminución de la energía de activación en un 50 por ciento.
– Disminución del volumen de SF_6 en un 30 por ciento ➔ 4.
– Disminución del volumen de la bahía de aparamenta aislada en gas (GIS) en un 50 por ciento (301 ELK 3-2, 147 ELK 3-1) ➔ 5.
– El tamaño de la bahía se disminuirá todavía más con componentes GIS adaptados. Esta bahía mejorada cabrá en un contenedor normalizado para el transporte y para el uso de urgencia como equipo de maniobra (como se mostró en la feria de Hanover de 2012).

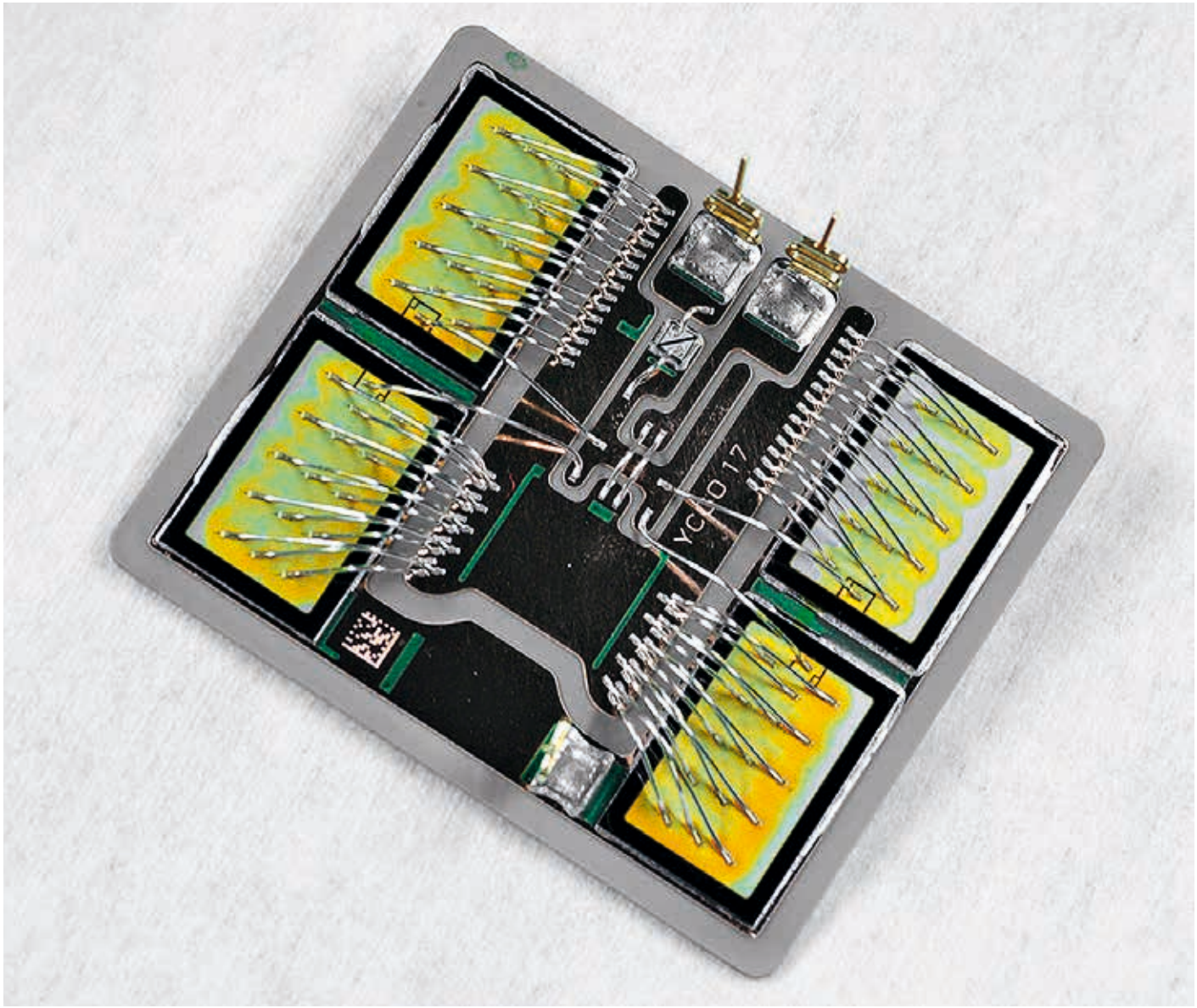
En una solución convencional de dos cámaras se utiliza el doble de energía de activación que en el nuevo sistema de movimiento no lineal doble (una cámara con un lado impulsado, casi cinco veces) ➔ 6.

La masa móvil por cámara es aproximadamente la misma (una o dos cámaras), pero el sistema de movimiento doble tiene una masa móvil ligeramente mayor (pasador y palancas).

Las fuerzas de reacción son menores que con cualquier otra solución, por lo que la infraestructura física es menos costosa. Además, la aceleración de las masas móviles puede escalonarse y el movimiento del pasador reducirse, lo que limita aún más las necesidades de energía ➔ 7.

El nuevo interruptor, que puede utilizarse en aplicaciones de depósito aislado y sistema de conexión y actuación (PASS), además de en GIS, cumple todos los objetivos importantes propuestos. Este nuevo producto es un interruptor moderno y competitivo que cumple las normas internacionales más recientes. En términos de capacidad pura, es interesante señalar que una sola cámara es capaz de conmutar una potencia de cortocircuito de casi 23 GW, equivalente a la potencia nominal de unas 15 centrales nucleares.

Helmut Heiermeier
Reto Karrer
ABB Power Products, High Voltage Products
Baden, Suiza
helmut.heiermeier@ch.abb.com
reto.karrer@ch.abb.com

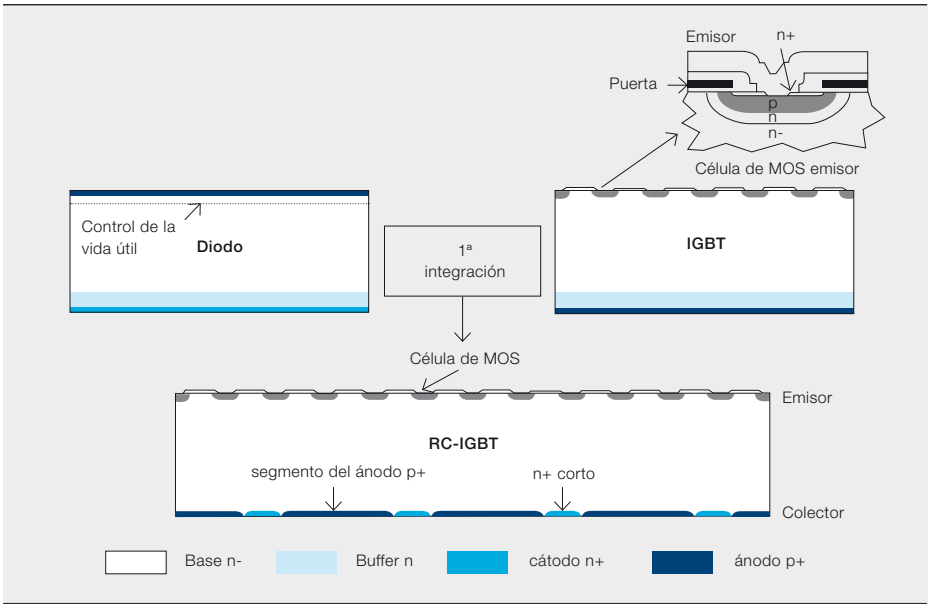


El chip dos en uno

El transistor bimodal de puerta aislada (BIGT)

MUNAF RAHIMO, LIUTAURAS STORASTA, CHIARA CORVASCE, ARNOST KOPTA – Los semiconductores de potencia empleados en aplicaciones de conversión de fuente de tensión (VSC) transportan normalmente la corriente en una sola dirección. Pero en las topologías de circuito VSC con cargas inductivas se suelen emparejar elementos conmutables que conducen en una dirección (diodo antirretorno) con diodos que conducen en la otra (dirección inversa o antiparalela). Por ello la producción de semiconductores se planteó hace mucho tiempo el objetivo de lograr la integración plena de los dos dispositivos en uno solo y, a ser posible, en una sola estructura de silicio. Esta integración abre el camino hacia densidades de potencia mayores y sistemas más compactos, al tiempo que simplifica la fabricación. En la tecnología IGBT[1], los conmutadores de conducción inversa integrados en un solo chip se han limitado casi siempre a dispositivos de baja potencia y aplicaciones especiales. ABB ha logrado una innovación radical con su BIGT (transistor bimodal de puerta aislada) que integra un diodo antirretorno en el dispositivo conmutador al tiempo que logra características funcionales antes limitadas a dispositivos mucho mayores.

1 Primer paso de la integración: IGBT de conducción inversa (RC-IGBT)



Debido a las dificultades técnicas asociadas con la idea de integrar dispositivos de conmutación con diodos antiparalelos, este enfoque solo se ha utilizado (en tiempos recientes) para componentes de baja potencia, como los IGBT y MOSFET[2], y para aplicaciones especiales. Además, para dispositivos bipolares de más superficie, como el IGCT[3], se ha utilizado la integración monolítica, pero con el IGCT y el diodo en regiones de silicio totalmente separadas.

ABB ha orientado el esfuerzo de desarrollo de los últimos años a crear una estructura de IGBT de alta potencia con un diodo plenamente integrado en un mismo chip. La principal aplicación diana eran los inversores conmutadores[4].

El nuevo concepto de semiconductor de potencia recibió el nombre de transistor bimodal de puerta aislada (BIGT). Los primeros prototipos, con tensiones nominales de más de 3.000 V, demostraron más densidad de potencia que los chips convencionales y mejoraron el rendimiento general. El BIGT se diseñó en línea con las ideas más recientes de diseño de IGBT, pero incorporando un diodo antiparalelo plenamente integrado y optimizado en la misma estructura. Además del efecto sobre la potencia y el tamaño del BIGT, el dispositivo también mejora la suavidad del apagado en los dos modos operativos, soporta temperaturas de funcionamiento elevadas, tiene mejor comportamiento en condiciones de fallo bajo cortocircuito en el IGBT y sobreintensidad en el diodo[5] y mejor reparto de la corriente cuando los dispositivos trabajan en paralelo. Utilizando el mismo volumen de silicio disponible en los modos de IGBT y de diodo, el dispositivo proporciona una utilización térmica mejorada gracias a la ausencia de periodos inactivos y, por tanto, es más fiable.

La ejecución práctica de la tecnología BIGT en un solo chip podría constituir una solución para futuras aplicaciones de alta tensión, que exigen sistemas compactos con más potencia, en especial los que presentan requisitos elevados de intensidad en el diodo y que podrían estar más allá de la capacidad de la estrategia habitual de dos chips.

Imagen del título
El nuevo BIGT de ABB integra la función de diodo de conducción inversa en la estructura del conmutador semiconductor.

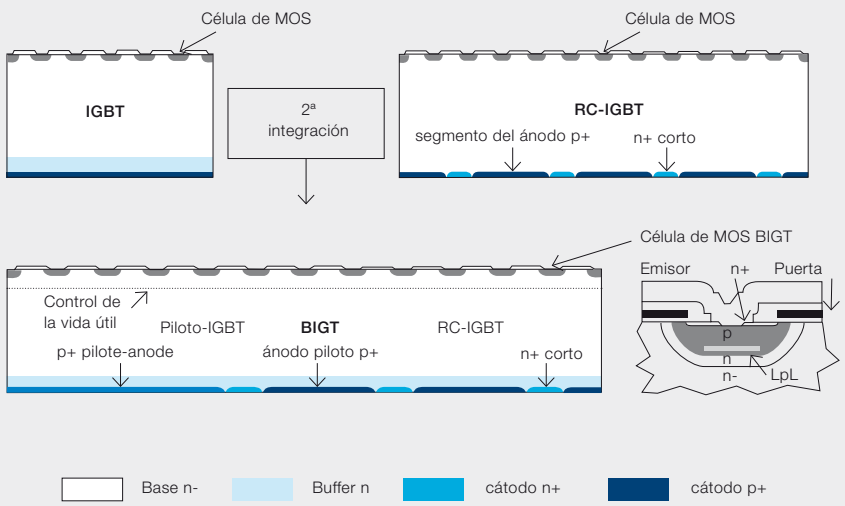
El problema de la integración

En aplicaciones modernas en las que se emplean módulos IGBT, el diodo presenta una limitación importante en términos de pérdidas: el rendimiento y la capacidad para soportar sobreintensidades. Los dos límites son producto del área históricamente limitada disponible para el diodo: la relación de áreas habitual IGBT:diodo es del orden de 2:1. Estos límites se establecieron básicamente después de la introducción de los modernos diseños de IGBT de baja pérdida. La estrategia de aumentar el área del diodo no es una solución aconsejable, y en cualquier caso sigue limitada por la superficie del diseño del paquete. La demanda de mayores densidades de potencia de los componentes IGBT y diodo ha desplazado el enfoque hacia una solución que integra el IGBT y el diodo, lo que normalmente se ha denominado IGBT de conducción inversa (RC-IGBT).

> En el BIGT se han combinado varias tecnologías actuales y nuevas para integrar las funciones de IGBT y diodo.

Hasta hace poco, el uso de RC-IGBT se ha visto limitado a las clases de tensión inferiores a 1.200 V para aplicaciones especializadas de conmutación suave con requisitos reducidos para el diodo. En términos convencionales, la realización de un dispositivo de este tipo para aplicaciones de alta tensión y conmutación normal se ha visto obstaculizada por problemas de diseño y proceso que han abocado a los inconvenientes de

2 Segundo paso de integración: el transistor bipolar de puerta aislada (BIGT)



Durante los últimos años, el esfuerzo de desarrollo de ABB se ha orientado a la creación de un IGBT de alta potencia y una estructura de diodo en un único chip.

rendimiento que se resumen a continuación:

- Vuelta[6] del IGBT a las características I-V del estado activado (efecto de MOSFET en corto).
- Compensación del IGBT activado frente a las pérdidas de recuperación inversa del diodo (efecto de conformación de plasma).
- Compensación del IGBT frente a la suavización del diodo (efecto de diseño del silicio).
- Área de trabajo segura (SOA) (efecto de la uniformidad de carga).

En los últimos años, el esfuerzo de desarrollo de ABB orientado a resolver estos problemas se ha materializado en un concepto avanzado de RC-IGBT: el BIGT.

El concepto de BIGT

El concepto de BIGT se basa en dos pasos de integración. El primero se ilustra en ➔ 1. El IGBT y el diodo comparten una única estructura. En el lado del colector se introducen áreas alternas con dopaje n+ en una capa de ánodo IGBT p+. Estas áreas actúan como contacto de cátodo para el modo de operación interno de diodo. La proporción de áreas entre el ánodo IGBT (regiones p+) y el cátodo del diodo (regiones n+) determina qué parte del área del colector está disponible en los modos de IGBT o de diodo, respectivamente. Durante la conducción en modo de diodo, las regiones p+ están inactivas y no influyen directamente en el comportamiento de conducción del diodo. Por el contrario, las regiones n+ actúan como cortos con el ánodo en el modo de funcionamiento IGBT e influyen fuertemente en el modo de conducción IGBT.

Unas de las consecuencias del corto al ánodo es la recuperación de la tensión ya mencionada. Esto se observa en forma de región de resistencia negativa en las características de los modos I-V del IGBT del dispositivo. Este efecto influirá negativamente cuando los dispositivos se conecten en paralelo, especialmente a baja temperatura. Para resolver este problema hace falta un segundo paso de integración. Se ha demostrado que la recuperación inicial puede controlarse y eliminarse introduciendo regiones p+ en el dispositivo, también llamado IGBT piloto. Esta estrategia condujo al concepto de BIGT que, en principio, es una estructura híbrida formada por un RC-IGBT y un IGBT normal en un mismo chip ➔ 2.

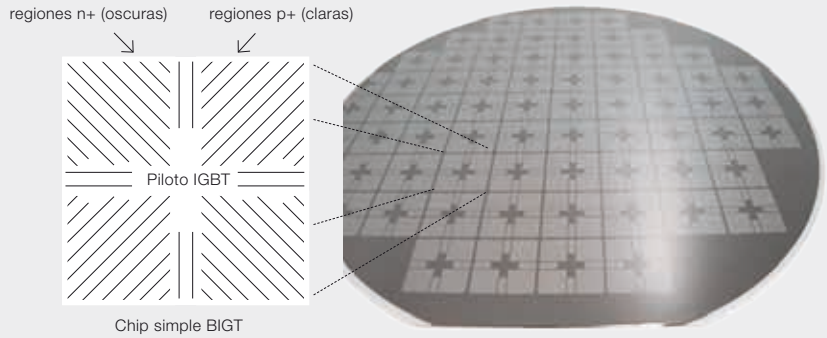
El área piloto se centraliza en el chip para obtener una mejor distribución térmica y reducir las faltas de uniformidad de la corriente. También se ha diseñado para ofrecer el máximo alcance funcional dentro del chip y asegurar al mismo tiempo una región RC-IGBT amplia. Las regiones p+ y n+ alternas se organizan en una estructura de bandas con una disposición radial optimizada para asegurar una transición suave y rápida en el modo de conducción IGBT desde el área piloto al resto del chip ➔ 3.

En el BIGT se han empleado varias tecnologías conocidas y nuevas para integrar las funciones de IGBT y de diodo. En primer lugar, es importante señalar que las plataformas tecnológicas utilizadas por ABB, como el amortiguador pasante

Notas a pie de página

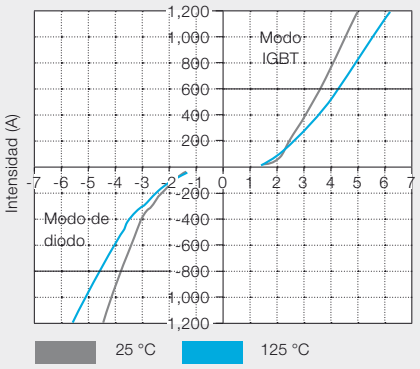
1 Un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) es un conmutador semiconductor controlado por la tensión de uso generalizado en la electrónica de potencia.
2 Un MOSFET (transistor de efecto campo de metal-óxido-semiconductor) es un dispositivo semiconductor utilizado en aplicaciones de conmutación y amplificación. Sus aplicaciones de conmutación son por lo general de menor potencia que las del IGBT.
3 Un IGCT (tiristor integrado de puerta conmutada) es un GTO (tiristor de desactivación de puerta) optimizado para la conmutación hard y con un accionamiento de puerta integrado. Encontrará más información sobre las distintas tecnologías de semiconductores en el artículo “Del arco de mercurio al interruptor híbrido”, en las páginas 70–78 de este número de la *Revista ABB*.
4 Se llama conmutación hard a la secuencia de activación e inactivación de una corriente acompañada de valores elevados de dv/dt y di/dt durante la conmutación.
5 La capacidad para soportar sobreintensidades es la aptitud de un dispositivo para aceptar un pico de corriente brusco y breve (superior al valor nominal del dispositivo) sin sufrir daños.
6 Se llama recuperación a un efecto observado en los IGBT que consiste en que la tensión en estado activado puede mostrar un pico breve durante la activación; se ilustra en la figura 9.

3 El diseño del dorso del BIGT

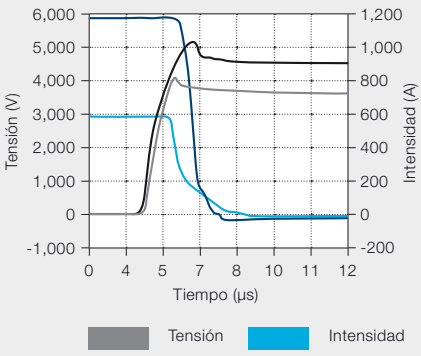


4 El BIGT HiPak 1 de 6,5 kV/600 A

5 Características del BIGT HiPak 1 de 6,5 kV/600 A en estado activado.



6 Formas de onda de IGBT HiPak 1 de 6,5 kV/600 A en modo apagado



La tecnología BIGT se diseñó inicialmente para dispositivos de alta tensión y se ha demostrado a nivel de módulo con tensiones nominales desde 3,3 kV hasta 6,5 kV.

suave (SPT) de alta tensión y los conceptos de célula plana mejorada[7] han sido esenciales para esta integración. Además de sus conocidas propiedades de robustez y pérdidas reducidas, el perfil de dopaje óptimo del SPT contribuye sustancialmente a reducir el efecto de recuperación, mientras que el diseño de célula plana miniaturizada desempeña una importante función en la reducción de las pérdidas de conducción del diodo y conmutación sin afectar negativamente al rendimiento del IGBT. Además de un control axial normal de vida útil, se diseñó también un proceso local preciso de vida útil de pocillo p (LPL) (como se ilustra en → 2) para mejorar la compensación del estado activado del IGBT frente a las pérdidas por recuperación inversa del diodo. Por último, debido al diseño de cortos al ánodo, el BIGT ha heredado varias propiedades que se han transformado en ventajas de rendimiento del dispositivo en ambos modos de funcionamiento como conmutación suave en condiciones extremas y con corrientes de fuga muy bajas para el funcionamiento a máximas temperaturas en la unión.

Rendimiento del BIGT

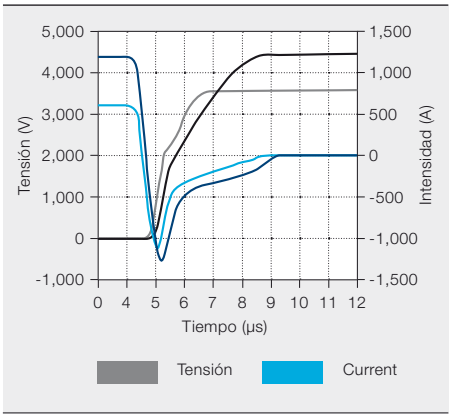
La tecnología BIGT se diseñó inicialmente para dispositivos de alta tensión y se ha demostrado a nivel de módulo con tensiones nominales desde 3,3 kV hasta 6,5 kV. Los resultados del ensayo presentado aquí se obtuvieron con los módulos HiPak 1 de tamaño estándar (140 × 130) para 6,5 kV de reciente creación con una intensidad nominal de 600 A → 4.

Un sustrato convencional IGBT/diodo estará normalmente ocupado por cuatro IGBT y dos diodos, mientras que el nuevo sustrato admite seis chips BIGT que funcionan todos en modo IGBT o en modo diodo. La ventaja del BIGT ha quedado claramente demostrada con el módulo HiPak 1 que contiene cuatro sustratos BIGT con un total de 24 chips BIGT capaces de reemplazar el módulo HiPak 2 mayor (140 × 190) que normalmente contiene seis sustratos con un total de 24 IGBT y 12 diodos. El módulo IGBT mayor tiene el inconveniente añadido de emplear un área de diodo mucho menor. Esta super-

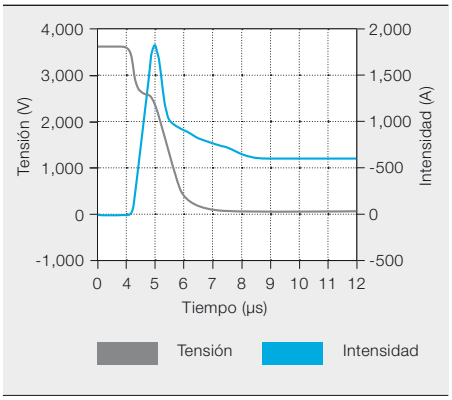
Nota a pie de página

7 Véase “La conmutación a un rendimiento superior”, páginas 19–24, *Revista ABB* 3/2008.

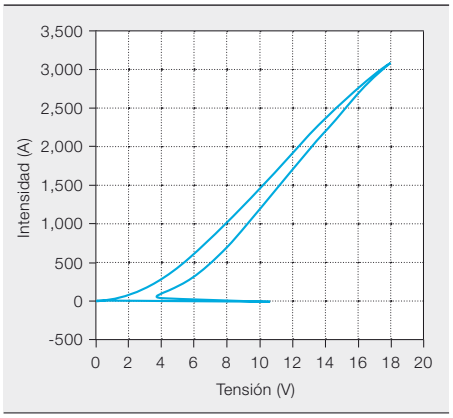
7 Formas de onda de recuperación inversa de IGBT HiPak 1 de 6,5 kV/600 A 1 en modo de diodos



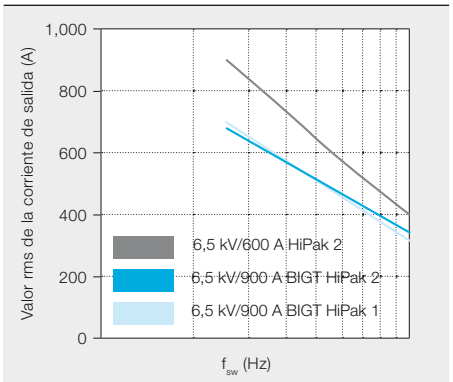
8 Formas de onda de IGBT HiPak 1 de 6,5 kV/600 A en modo encendido



9 Capacidad de sobretensión-corriente de sustrato de BIGT en modo de diodos



10 Salida de los módulos HiPak 1 y HiPak 2 de 6,5 kV en modos de inversor.



ficie suele ser un factor limitante en el modo de rectificador y desde el punto de vista de la resistencia a las sobreintensidades. Por otra parte, hay un módulo BIGT HiPak 2 mayor viable con un total de 36 chips BIGT y una capacidad nominal de hasta 900 A.

Los módulos BIGT HiPak 1 se probaron en condiciones estáticas y dinámicas similares a las aplicadas a los módulos IGBT más avanzados. Las características en estado activado del BIGT en los modos IGBT y diodo se muestran en ➔ 5. Se muestran valores en estado activado de aproximadamente 4,2 V a 125 °C a la intensidad nominal de 600 A para los dos modos de funcionamiento. Además, en apoyo de la conexión segura en paralelo de los chips, las curvas muestran un fuerte coeficiente de temperatura positivo incluso con intensidades muy bajas y en los dos modos de trabajo. Esto se debe a la óptima eficacia de inyección del emisor y al control de vida útil empleado en la estructura BIGT.

Para mediciones dinámicas en condiciones nominales, la tensión del enlace CC se ha ajustado a 3.600 V, mientras que para la caracterización del SOA se ha elevado hasta 4.500 V. Todas las mediciones se hicieron a 125 °C con un resistor fijo de puerta de 2,2 Ω, una capacitancia del emisor de puerta de 220 nF y una inductancia parásita de 300 nH. En ➔ 6 – 7 se presentan las ondas de desconexión de IGBT y diodo a nivel de módulo en condiciones nominales y SOA. Las formas de onda de desconexión BIGT siempre presentan un perfil más suave que en los módulos estándar IGBT/diodo. El BIGT no presenta oscilaciones ni características pasajeras en ninguna circunstancia. ➔ 8 también muestra el comportamiento de activación de BIGT en condiciones normales.

Las pérdidas totales de la conmutación IGBT y con diodo para el módulo ensayado fueron del orden de 10 julios, un valor similar al determinado para el actual módulo estándar IGBT HiPak 2 de 6,5 kV/600 A.

➔ 9 ilustra el último paso de medición de la sobreintensidad del BIGT en el modo diodo para un sustrato (150 A nominales), que alcanzó los 3.000 A. Está claro que el BIGT HiPak 1 ofrece el comportamiento ante sobreintensidades sin compromisos del módulo HiPak 2 IGBT/diodo equivalente, y el módulo BIGT HiPak 2 va mucho más allá. Por último, se hicieron verificaciones normales de la fiabilidad y pruebas de funcionamiento frecuente de los módulos y los chips BIGT, con resultados satisfactorios.

Según estos resultados, se espera que el dispositivo BIGT supere a los IGBT y diodos más avanzados en condiciones de conmutación soft y hard y que también cumpla las rigurosas normas de robustez exigidas por los actuales dispositivos de potencia. ➔ 10 ilustra la intensidad de salida simulada en modo inversor para los módulos BIGT HiPak 1 y HiPak 2 de 6,5 kV en comparación con el actual módulo IGBT HiPak 2 a 125 °C. Las simulaciones de la corriente de salida del BIGT en el modo de rectificador revelarán una capacidad aún mayor, debido a la elevada superficie del diodo disponible en el módulo BIGT. La tecnología BIGT preparará el terreno para las generaciones futuras de diseños de sistemas para mayores densidades de potencia con un rendimiento general excepcional sin limitaciones derivadas del funcionamiento del diodo.

El módulo BIGT HiPak 2 es viable con un total de 36 chips BIGT y una intensidad nominal de hasta 900 A.

Munaf Rahimo
Liutauras Storasta
Chiara Corvasce
Arnost Kopta
ABB Semiconductors
Lenzburg, Suiza
munaf.rahimo@ch.abb.com
liutauras.storasta@ch.abb.com
chiara.corvasce@ch.abb.com
arnost.kopta@ch.abb.com

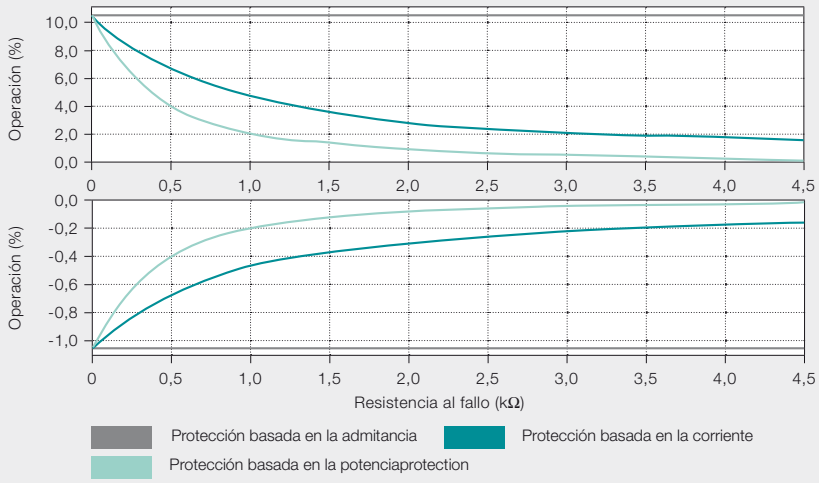
Admitancia fácil

La función de protección de fallo a tierra definitiva para redes compensadas

ARI WAHLROOS, JANNE ALTONEN, PRZEMYSLAW BALCEREK, MAREK FULCZYK – Una red compensada es una red en la que el punto neutro del sistema está conectado a masa mediante una bobina de compensación. Esta conexión a masa reduce las corrientes de fallo a tierra capacitivas producidas por la red hasta casi cero en el punto de fallo y facilita las condiciones de autoextinción del fallo sin necesidad de interruptores automáticos y sin provocar cortes al cliente. Por eso aumenta sin cesar el número de redes de media tensión que se están transformando al tipo compensado. Sin embargo, las bajas intensidades de fallo de las redes compensadas desafían los principios tradicionales de protección frente a fallos a tierra.

A principios del decenio de 1980 se desarrolló en Polonia un principio alternativo basado en la admitancia medida en el punto neutro. Este principio, sencillo pero muy inteligente, tiene muchas ventajas sobre los métodos tradicionales y puede aplicarse a todo tipo de redes sin conexión a tierra y compensadas, incluidas las arterias con compensación distribuida. La función de protección del fallo a tierra basada en la admitancia en el punto neutro se presenta ahora en los productos Relion® REF615 y REF630 de ABB.

1 Distintos principios de protección frente a fallos de tierra que muestran la magnitud de la operación como un porcentaje del valor nominal de Y_o, I_o o S_o frente a la resistencia al fallo



A principios del siglo XX, Waldemar Petersen descubrió que conectando una inductancia al punto neutro del transformador principal, la corriente capacitiva del fallo a tierra producida por la red podía reducirse hasta casi cero y, de este modo, la mayoría de los fallos a tierra con arco se autoextinguían. Actualmente estos componentes de inductancia se llaman bobinas de Petersen, bobinas de compensación o bobinas de supresión de arcos.

Los fallos a tierra pasajeros causan la mayor parte de los apagones, y el uso de bobinas de compensación reduce sustancialmente la frecuencia de cortes, con el resultado de un suministro más fiable y de más calidad. La compensación permite también que la red siga funcionando durante un fallo a tierra sostenido, siempre que se cumplan las condiciones para tensiones peligrosas impuestas por las leyes y los reglamentos.

Por ello, la aplicación de bobinas de compensación se ha hecho común en redes de distribución de media tensión (MT) en todo el mundo.

Las redes compensadas ponen a pruebas los métodos de protección

Aunque la compensación tiene ventajas para la explotación, la protección frente a los fallos a tierra de la red es más complicada debido a las corrientes de fallo extremadamente bajas que se producen como consecuencia del efecto compensador de la bobina de Petersen. A menudo, estas corrientes son solo una fracción de la corriente de carga normal, y son insuficientes para disparar un relé convencional de sobreintensidad.

Tradicionalmente, la protección frente al fallo a tierra en redes compensadas se ha basado en el componente activo de la corriente residual (principio de Iocosphi) o de la potencia residual (principio de Wattmeric). A principios del decenio de 1980 se formuló en Polonia otro principio basado en la admitancia medida en el punto neutro que se ha convertido en un requisito funcional para las empresas de suministro de ese país.

> Los fallos a tierra pasajeros provocan la mayor parte de los cortes. El uso de las bobinas de compensación puede reducirlos sustancialmente, lo que mejora la fiabilidad y la calidad del suministro.

El concepto de protección de la admitancia en el punto neutro

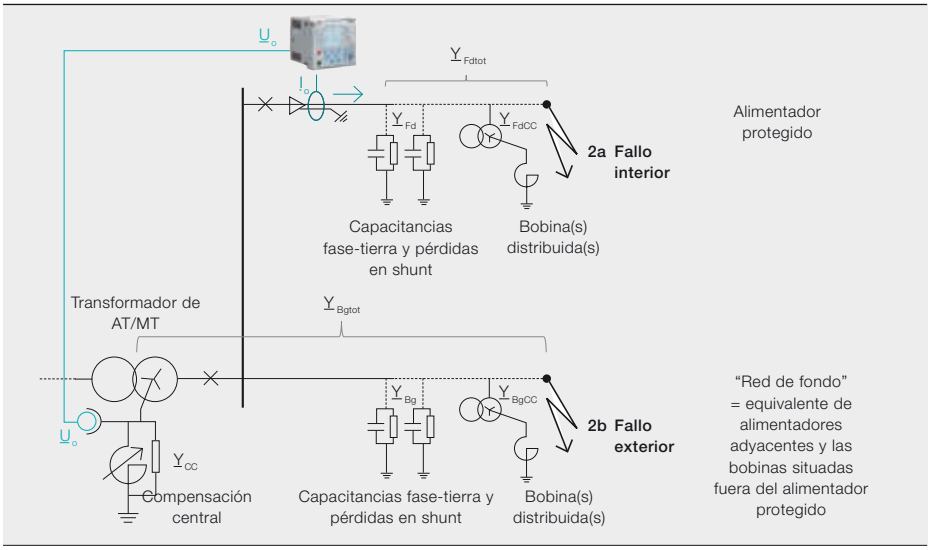
La protección de la admitancia en el punto neutro, como otros métodos de protección del fallo a tierra, se basa en los componentes de la frecuencia fundamental de la intensidad residual ($\underline{I}_0$) y la tensión residual ($\underline{U}_0$). Pero, la magnitud sobre la que se actúa no es ni la intensidad residual ni la potencia ($\underline{S}_0 = \underline{U}_0 \cdot \underline{I}_0$) sino la vigilancia del valor de la admitancia medida en el punto neutro, $\underline{Y}_0$, definida como el cociente de los fasores de la intensidad y la tensión residuales:

$$\underline{Y}_0 = \frac{\underline{I}_0}{\underline{U}_0} = G + j \cdot B,$$

donde G es la conductancia y B la susceptancia. La admitancia medida está directamente relacionada con parámetros conocidos del sistema, como resistencias en shunt, capacitancias e inductancias de la red. La parte resistiva de la admitancia en el punto neutro, es decir, la conductancia G, corresponde a las resistencias de shunt y a las pérdidas del sistema, y la parte imaginaria, es decir, la susceptancia B, corresponde a las capacitancias y las inductancias de shunt del sistema. Como estos valores son la base del análisis de la protección del fallo a tierra de la red, sus valores siempre se conocen y se guardan habitualmente en los sistemas de gestión de la distribución (DMS).

Imagen del título
Las redes compensadas mejoran la fiabilidad del suministro, pero dificultan la protección del fallo a tierra. ¿Cómo resuelve la situación un método inventado en Polonia a principios del decenio de 1980?

2 Circuito equivalente monofásico simplificado de una red compensada con un fallo de tierra situado bien en el alimentador protegido (2a), bien en la red de fondo (2b).



La principal ventaja de vigilar el cociente de $\underline{I}_0$ y $\underline{U}_0$, es decir, la admitancia en el punto neutro es que, idealmente, este cociente permanece constante mientras varía la resistencia del fallo a tierra, pues

> La principal ventaja de vigilar el cociente entre I_0 y U_0, es decir, la admitancia, es que, en condiciones ideales, el resultado no se ve afectado por la resistencia del fallo en el punto del fallo.

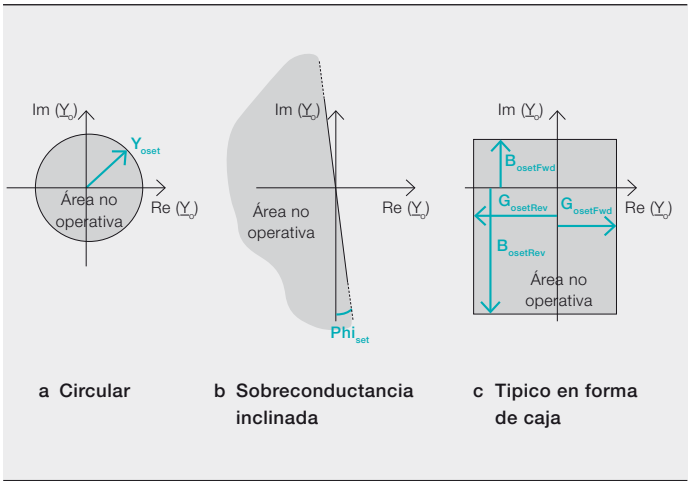
$\underline{I}_0$ y $\underline{U}_0$ disminuyen cuando aumenta la resistencia del fallo [1]. Esto contrasta con la protección tradicional del fallo a tierra, donde la magnitud de la cantidad con la que se opera, basada en la corriente o en la potencia residuales, está muy reducida por la resistencia del fallo. Esta característica del principio de la admitancia en el punto neutro mejora la sensibilidad de la protección del fallo a tierra y la discriminación entre las condiciones con fallo y sin fallo, especialmente a los valores de resistencia más elevados ➔ 1.

La teoría de la protección de la admitancia en pocas palabras

En el caso de un fallo fuera de la arteria protegida, la admitancia medida es igual al negativo de la admitancia total en el punto neutro de la arteria protegida: $-\underline{Y}_{Fdtot}$. Esta admitancia es la suma de las admitancias totales de los conductores de fase de la arteria protegida, $\underline{Y}_{Fd}$, y las admitancias de las bobinas de compensación situadas en la arteria protegida, $\underline{Y}_{FdCC}$ (en su caso). La parte resistiva de la admitancia medida corresponde a las pérdidas resistivas del shunt de la arteria y a las pérdidas de las bobinas distribuidas situadas en la arteria protegida. La parte imaginaria es proporcional a la suma de las capacitancias de fase a tierra de la arteria y las inductancias de las bobinas de compensación distribuidas situadas en la arteria protegida ➔ 2.

En el caso de fallo dentro de la arteria protegida, cuando la protección debe funcionar, la admitancia medida es igual a la admitancia total en el punto neutro de la red de fondo, $\underline{Y}_{Bgtot}$. Esta admitancia es la suma de las admitancias totales de los conductores de fase de todas las demás arterias de la subestación, $\underline{Y}_{Bg}$, y de las admitancias de las bobinas de compensación situadas fuera de la arteria protegida en la subestación, $\underline{Y}_{CC}$, o en las arterias próximas, $\underline{Y}_{BgCC}$. La parte real de la admitancia medida es siempre positiva, pero el signo de la parte imaginaria, es decir, la susceptancia, depende de la sintonía de la bobina de compensación. Normalmente, la protección se prepara

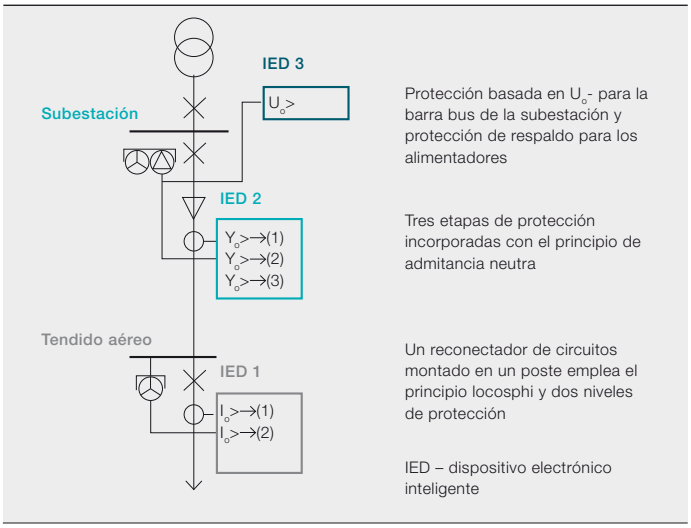
3 Ejemplos de características de admitancia reales (Re) e imaginarias (Im).



a Circular **b Sobreconductancia inclinada** **c Tipico en forma de caja**

El área sombreada es el área no operativa, es decir, donde la protección funciona cuando la admitancia calculada está fuera de la línea o líneas límites.

4 Ejemplo de diagrama de protección para una protección de alimentadores de media tensión utilizando admitancia neutra y funcionalidad clásica de protección frente al fallo de tierra.



para actuar con el componente adicional de intensidad resistiva introducido por el resistor en paralelo de la bobina. En la medición de la admitancia, el aumento de la intensidad resistiva se mide directamente en la parte real de la admitancia, es decir, la conductancia.

El principio fundamental de funcionamiento de la protección del fallo a tierra basada en la admitancia se apoya en la discriminación entre las admitancias en el punto neutro resultantes de los fallos interiores y exteriores. La protección actúa, es decir, dispara el interruptor del circuito, cuando se mide la admitancia interna del fallo, pero no cuando se mide la admitancia externa. Esta condición se caracteriza por los límites de funcionamiento, que pueden ser circulares o estar formados por una o varias líneas. La protección actúa cuando el punto de la admitancia calculada se desplaza fuera de estas líneas ➔ 3.

El principio de admitancia es aplicable a todos los tipos de redes con conexión a tierra de alta impedancia, incluidas arterias con compensación distribuida.

El principio de la admitancia en el punto neutro tiene la flexibilidad suficiente para ser aplicable a todos los tipos de impedancia elevada en redes conectadas a tierra, no conectadas y compensadas, incluidas las arterias con compensación distribuida. Estos últimos dispositivos se están haciendo más comunes a medida que los tendidos aéreos, vulnerables al mal tiempo, se van sustituyendo por cables subterráneos. Estos cables multiplican la corriente de fallo a tierra producida por tales arterias, lo que habitualmente exige compensación local con bobinas distribuidas. Las bobinas distribuidas pueden ser problemáticas para los métodos convencionales de protección del fallo a tierra, pues sus características no pueden adaptarse fácilmente cuando la configuración de la línea de alimentación cambia sustancialmente.

La flexibilidad del principio también mejora la protección durante los fallos a tierra repetidos, pues hay un margen mayor antes de que pueda producirse el funcionamiento en falso [2].

Plenamente compatible con la protección tradicional del fallo a tierra

Como en la protección tradicional del fallo a tierra, el principio de la admitancia en el punto neutro utiliza el estado de sobretensión residual como criterio general de partida para definir la sensibilidad de la protección básica. Esto permite la combinación con los principios tradicionales, útil cuando se utilizan varios principios de protección en el área de distribución de una subestación ➔ 4.

Con el principio de admitancia en el punto neutro es posible eliminar el efecto de la asimetría de la red de los resultados de la medición.

Desde la perspectiva de la protección, el problema de los armónicos puede transformarse en una ventaja.

Mejora del principio de admitancia

Tradicionalmente, la protección del fallo a tierra se basa en los fasores de intensidad y tensión residual que se calculan en cuanto se detecta el fallo a tierra. Cuando la red está formada primordialmente por tendidos aéreos, puede haber presente en ella una tensión residual de estado sin fallos de magnitud elevada debido a conductores de fase no traspuestos. Esta asimetría de la red afecta a las cantidades con las que se opera, por lo que el resultado del cálculo depende de que haya una fase defectuosa, por ejemplo. Esta dependencia aumenta con la resistencia de fallo, y puede afectar negativamente a la sensibilidad de la protección del fallo a tierra. Con el principio de admitancia en el punto neutro se puede eliminar el efecto de la asimetría de la red a partir de los resultados de la medición. Esto se logra utilizando las llamadas cantidades delta: los valores anteriores al fallo de los fasores de intensidad y tensión residual se restan de los valores medidos durante el fallo antes de calcular la admitancia en el punto neutro. Los algoritmos apropiados son fáciles de implementar en los modernos dispositivos electrónicos inteligentes (IED) [1].

Un problema se convierte en una oportunidad

En las redes de MT están apareciendo más componentes armónicos debido al creciente número de cargas generadoras de armónicos y de diversos componentes no lineales. En consecuencia, también hay muchos más armónicos en la corriente de fallo durante el fallo a tierra de una sola fase.

Como la bobina de compensación solo compensa el componente de frecuencia fundamental de la corriente del fallo a tierra capacitiva, permanecen los otros componentes de frecuencia. Tradicionalmente, estos componentes se consideran perturbaciones que deben filtrarse. Por el contrario, la protección del fallo a tierra basada en la admitancia en el punto neutro se aprovecha de estos armónicos para mejorar la discriminación entre condiciones con y sin fallo [3]. En los IED modernos, las admitancias armónicas pueden calcularse fácilmente y sumarse a la admitancia de la frecuencia fundamental en formato de fasor, lo que hace la discriminación entre estados con y sin fallo aún más clara.

Años de experiencia positiva

Desde su invención, el método de protección del fallo a tierra basado en la admitancia en el punto neutro se ha difundido desde Polonia a otros países europeos. Puede aplicarse a la protección del fallo a tierra direccional habitual, pero también a la detección del fallo a tierra de alta impedancia e intermitente. ABB, en colaboración con empresas eléctricas de Finlandia, ha hecho recientemente avances en este aspecto. Sobre la base de completas pruebas sobre el terreno puede concluirse que la técnica tiene realmente una sensibilidad superior a la de los principios tradicionales de protección del fallo a tierra. Con los valores apropiados y mediciones exactas, pueden detectarse fallos a tierra con resistencias de fallo de hasta 10 kΩ [2].

En comparación con los métodos tradicionales, la protección basada en la admitancia en el punto neutro presenta varias características atractivas, como mayor sensibilidad y seguridad frente a fallos a tierra continuos y repetidos. Además, es de aplicabilidad universal, incluidas las redes con compensación distribuida; por tanto, el principio es una opción segura para aplicaciones futuras de redes inteligentes. Por último, la configuración de la protección puede determinarse fácilmente a partir de datos básicos del sistema, lo que permite la optimización sencilla y práctica de las características operativas.

Ari Wahlroos
Janne Altonen
Marek Fulczyk
ABB Medium Voltage Products
Vaasa, Finlandia
ari.wahlroos@fi.abb.com
janne.altonen@fi.abb.com
marek.fulczyk@fi.abb.com

Przemyslaw Balcerek
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia
przemyslaw.balcerek@pl.abb.com

Referencias

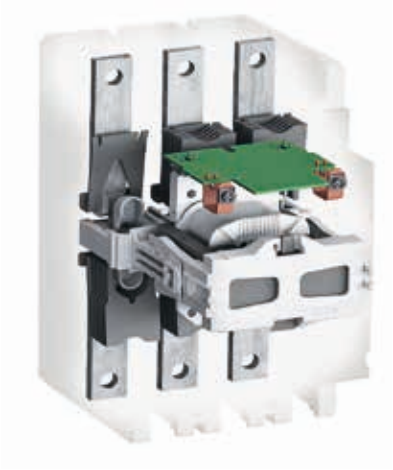
[1] A. Wahlroos and J. Altonen, “Performance of novel neutral admittance criterion in MV-feeder earth-fault protection,” CIRED, Praga, 2009.
[2] A. Wahlroos, J. Altonen, “Practical application and performance of novel admittance-based earth-fault protection in compensated MV-networks,” CIRED, Frankfurt, 2011.
[3] A. Wahlroos, J. Altonen, “Compensated networks and admittance-based earth-fault protection,” in seminar Methods and Techniques for Earth Fault Detection, Indication and Location, Espoo, Finlandia, 2011.

Contacto limpio

Tecnología de contactores para conmutación de potencia y control de motores

GUNNAR JOHANSSON – Los contactores eléctricos son casi tan antiguos como la misma tecnología eléctrica (un hecho que ABB puede certificar, pues lleva más de 100 años fabricando equipamiento de baja tensión. Ahora, sin embargo, la innovación y la nueva tecnología están dando nueva vida a los contactores y resolviendo muchos de los problemas que tradicionalmente frenaban el avance de este caballo de batalla del mundo de la conmutación eléctrica. Los contactores AF de nueva generación de ABB están allanando el camino.

1 Esquema de contactor



Los nuevos contactores de ABB utilizan software y un circuito electrónico junto con un imán especialmente diseñado para desarrollar rápidamente una gran fuerza de contacto.

Un contactor es un dispositivo de conmutación controlado eléctricamente que funciona de forma muy parecida a un relé, pero para intensidades mayores. A diferencia del interruptor automático, que constituye otro tipo de dispositivo de conmutación, el contactor no puede cortar las corrientes de cortocircuito, aunque puede realizar muchas otras operaciones. Tradicionalmente, los contactores se utilizan para poner en marcha y detener maquinaria eléctrica. El tipo de contactor más común es el de tres polos, utilizado para establecer, conducir e interrumpir la corriente de un sistema trifásico.

Los contactores se construyen alrededor de un sistema de contacto que se conecta al circuito principal. Adyacente a este sistema de contactos se encuentra una cámara de ruptura que contiene diversos dispositivos que mejoran la actuación del corte. Los contactos móviles se accionan mediante un puente de contactos con muelles que proporcionan la fuerza de contacto en la posición de cerrado. El movimiento lo realiza un electroimán rodeado por una bobina ➔ 1.

Concepto de producto sencillo

Los grandes contactores de ABB se diferencian claramente de los de la competencia porque el circuito principal se encuentra en la parte trasera. Presentada hace unos 10 años, esta solución ya se ha probado sobre el terreno. Esta configuración facilita la combinación con otros dispositivos de conmutación, principalmente interruptores automáticos, e impide que los cables del circuito principal, que son gruesos y bastante rígidos, dificulten el acceso ➔ 2.

Un circuito montado en la parte de atrás facilita la combinación con otros dispositivos de conmutación y evita obstaculizar el acceso a los cables del circuito principal.

El coste de la electrónica se ha rebajado a un nivel que hace que estos contactores controlados electrónicamente sean comparables en precio a las convencio-

Imagen del título
Desde que la tecnología eléctrica apareció en el mundo industrial, los contactores han desempeñado un papel fundamental. Nuevas ideas han superado los inconvenientes clásicos, permitiendo así lanzar una nueva generación de contactores.

2 La colocación del circuito en la parte trasera facilita el acceso

2a Contactor anterior con circuito principal en la parte delantera

2b Contactor nuevo con el circuito principal en la parte trasera

El coste de estos contactores controlados electrónicamente es comparable al de los dispositivos convencionales.

nales. Los costes de montaje son bajos ya que el módulo electrónico encaja fácilmente dentro del contactor.

Menos materias primas

Cuando los contactores establecen o cortan grandes intensidades, se forman arcos. Estos arcos erosionan el material de los contactos y esta erosión determina la vida del contactor. Normalmente el principal componente de los contactos es una aleación de plata de ley elevada. Puesto que la plata es un material caro, no es práctico aumentar el volumen de los contactos para prolongar su vida, por lo que ABB ha dedicado mucho esfuerzo de investigación a encontrar otras maneras de conseguirlo.

Han surgido varias soluciones:

- Mejora de los movimientos del contactor mediante el uso de un circuito de control electrónico
- Uso de soluciones de software que reduzcan el desgaste de los contactos
- Diseño de nuevos imanes que permitan mayores fuerzas en el contacto
- Introducción de nuevas cámaras de ruptura que eliminen y extingan los arcos
- Ajuste de la fabricación y la composición del material de los contactos para proporcionarles mayor duración

Cierre de los contactos

Cuando se cierran los interruptores, a veces se producen pequeños rebotes antes de que los contactos se queden fijos en la posición de cerrado. Este denominado rebote del contacto hace que se formen arcos menores, erosivos. Puesto que la intensidad es pequeña en este momento, el rebote del contacto no es tan importante. Mucho más importante es el levantamiento del contacto.

El levantamiento del contacto se produce un poco después, cuando la intensidad es alta → 3. Los contactos están entonces normalmente en la posición correcta pero hay otros factores, como la corriente de conmutación elevada, que los puede separar y formar arcos. Cuando circulan intensidades elevadas, la erosión es grave → 4. Además, las vibraciones, que provienen del electroimán del contactor que se cierra, pueden interactuar con las fuerzas de separación para producir el levantamiento del contacto. Por lo tanto, los contactos deben mantenerse apretados a fondo para que soporten las posibles fuerzas de separación. Para ello, los nuevos contactores de ABB utilizan software y un circuito electrónico junto con un imán especialmente diseñado para desarrollar rápidamente una gran fuerza de contacto. El circuito incluye también un movimiento medido y controlado que reduce al mínimo las vibraciones. El levantamiento del contacto es poco frecuente y de esta forma se minimiza la erosión correspondiente.

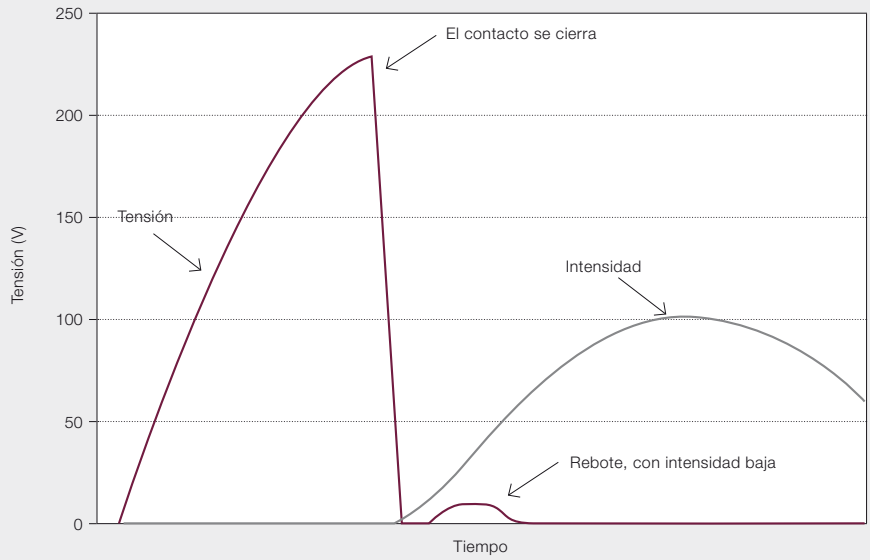
Apertura de los contactos

Cuando se cortan intensidades elevadas (más de 100 A), el arco tiene que separarse rápidamente del material de contacto de plata para limitar la erosión. La erosión también tiene que estar distribuida tan uniformemente como sea posible entre las distintas fases.

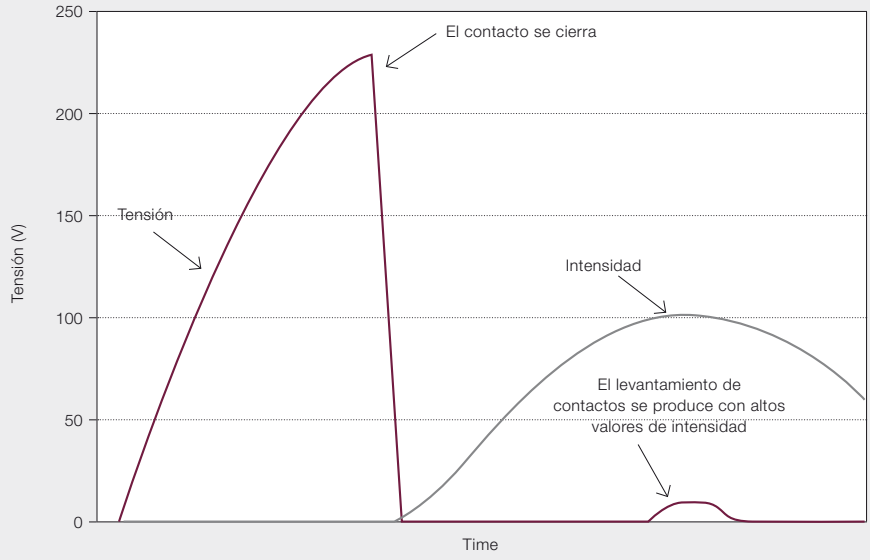
Para separar el arco de los contactos, se utiliza una tecnología convencional. Una placa de acero rodea el contacto y aleja el

Una mezcla de plata y óxido de estaño con dopantes, es un buen material para el contactor.

3 Rebote de contactos y levantamiento de contactos



3a El rebote de contactos se produce normalmente con valores bajos de intensidad y no es un problema.



3b El levantamiento de contactos se produce con valores altos de intensidad y puede ocasionar su erosión grave.

arco. Los diseños se calculan ahora con cuidado y se optimizan utilizando herramientas de simulación. Se han puesto en duda y refutado algunas viejas verdades en tanto que se han aprovechado otras en todo su potencial.

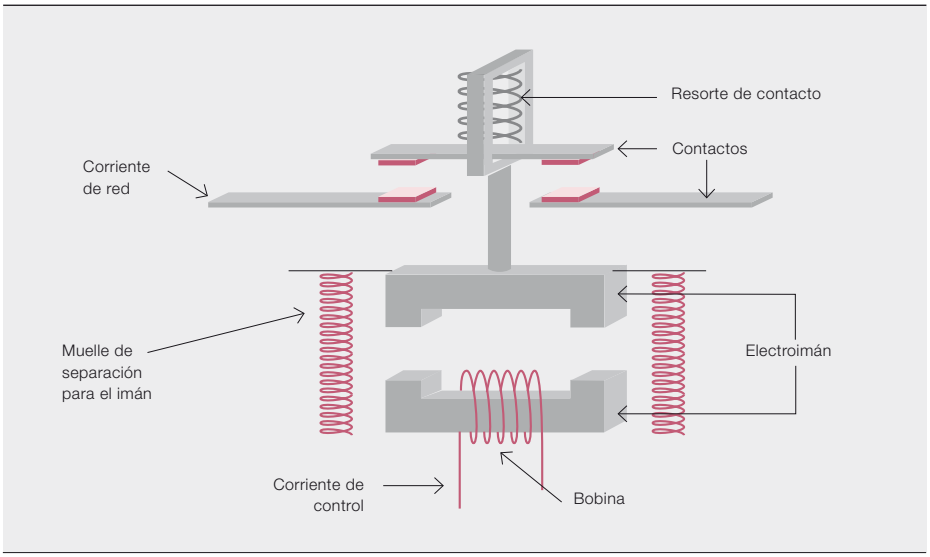
Desgraciadamente, el circuito de control, junto con la bobina y el imán, pueden hacer que las fases del contactor sufran cargas irregulares ya que la tensión en el circuito de control está frecuentemente relacionada con el circuito principal y se puede producir una cierta sincronización entre el momento de la conmutación y la fase de la tensión. Entonces, la carga no se distribuirá uniformemente entre las fases del contactor y la fase que se utilice más se desgastará más pronto y, al hacerlo, determinará la vida de todo el dispositivo. Es mejor distribuir uniformemente la carga entre las fases e igualar la erosión de los contactos. El software y la electrónica de ABB hacen exactamente eso al eliminar esa sincronización. Se han conseguido mejoras considerables en la duración. El método tiene una patente en trámite.

Material de contacto

El material que se utiliza para los contactos y su método de fabricación tienen gran influencia en la erosión. Anteriormente, las aleaciones de plata y cadmio proporcionaban unas características muy

4 Levantamiento de contactos – instantánea de una película. El arco consume material del contactor

5 Circuito de control clásico convencional y bien comprobado



El circuito proporciona un movimiento medido y controlado que reduce al mínimo las vibraciones.

buenas, pero el cadmio fue prohibido hace mucho tiempo. Los contactos puros de plata serían excelentes si no fuera porque se sueldan entre sí y se erosionan rápidamente. Una mezcla de plata y óxido de estaño, con dopantes, es un buen material para el contactor. Como este material es tan crítico, ABB utiliza una mezcla determinada cuidadosamente y los procesos de fabricación más avanzados para producirlo.

La fiabilidad es fundamental

La fiabilidad es la cualidad del contactor más apreciada por los clientes. ABB ha dedicado mucho trabajo meticuloso de diseño y pruebas exhaustivas para comprobar que los productos del contactor cumplen los requisitos más exigentes de fiabilidad. La calidad del circuito de control es esencial.

El circuito de control

El circuito de control de un contactor está construido alrededor de un electroimán seccionado que trabaja con un sistema de muelles. El imán es activado por una corriente que circula a través de una bobina que hace que se atraigan entre sí las dos mitades del imán. Esta atracción cierra el imán y, por medio del sistema de muelles; también cierra los contactos y les transmite fuerza. Cuando se desactiva el imán, se abre, junto con los contactos y corta la corriente principal → 5. Este principio básico se ha utilizado durante más de 100 años y nadie ha presentado aún una opción más competitiva. ABB y sus principales competidores utilizan esta solución sencilla, bien probada y fiable para establecer, conducir y cortar grandes intensidades.

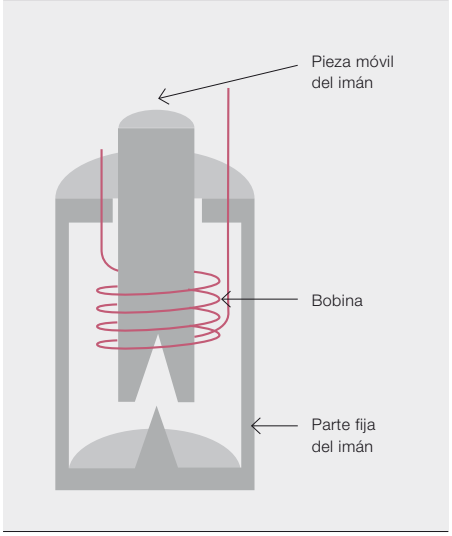
Los contactores automáticos AF de ABB utilizan un circuito patentado controlado por microprocesador que asegura que la intensidad en la bobina es correcta, independientemente de las fluctuaciones de tensión.

El método, sin embargo, tiene inconvenientes:

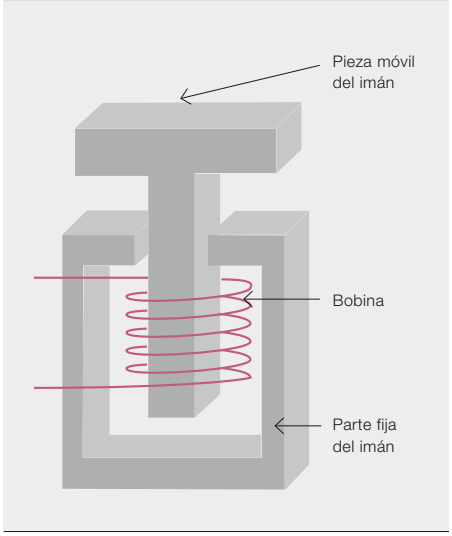
– Sensibilidad a las variaciones de tensión. Las variaciones de la tensión

El software y la electrónica de ABB distribuyen uniformemente la carga entre las fases e igualan la erosión de los contactos.

6 Sección de imán cilíndrico



7 Imán con pieza móvil con forma de T



de alimentación producen modificaciones en la corriente de la bobina. Que a su vez tienen un efecto cuadrático sobre la fuerza magnética. En casos desafortunados, los contactos se pueden abrir y cerrar bruscamente y provocar el fallo del dispositivo.

– La mayoría de los usuarios desearán utilizar una tensión de control de corriente alterna, por ejemplo de 230 V a 50 Hz. El imán debe ser a la vez grande y complejo para mantener la fuerza cuando la tensión de control pasa por cero.
– El consumo de energía en el circuito es elevado, especialmente cuando se alimenta con corriente alterna.
– Los requisitos de tolerancia de la superficie en los polos del imán son extremadamente altos. Durante un uso exigente, pueden variar las dimensiones provocar el deterioro de la fuerza magnética.

Ahora, una tecnología moderna y un diseño innovador se encargan de estos aspectos.

Novedad en los circuitos de control

Los nuevos contactores AF de ABB emplean un circuito controlado por microprocesador con algoritmos patentados que aseguran que la corriente en la bobina es siempre correcta, independientemente de las fluctuaciones de tensión. En consecuencia, tanto el flujo magnético como las fuerzas de contacto están optimizados. El circuito convierte asimismo la CA en CC. Esto reduce las necesidades de potencia, proporciona una fuerza magnética más suave y obvia la cuestión de los pasos por cero. También permite utilizar un imán más pequeño, más sencillo y fiable. Se ha minimizado el desgaste mecánico y eléctrico.

Puesto que se eliminan los pasos por cero y se controla la corriente en la bobina, los diseños antiguos y bien probados de imanes que, de otro modo tendrían graves limitaciones, pueden ser recuperados y completamente aprovechados.

En los contactores AF más pequeños, se utiliza un imán cilíndrico con pistón móvil y superficie de los polos cónica ➔ 6. Se trata de una disposición muy compacta y de baja potencia. Es tan eficaz y requiere tan poca potencia que los contactores pueden funcionar con una débil fuente de alimentación tal como la salida de un transistor. Los interruptores automáticos AF mayores utilizan un imán cuyas partes móviles y fijas tienen forma de T y de U, respectivamente ➔ 7. Ésta es también una solución compacta que necesita poca potencia. Ambos tipos de imán aprovechan el hecho de que en la bobina solo circula CC.

El diseño de los contactores, aunque con más de 100 años, se ha convertido en un nuevo e interesante campo de desarrollo de productos, gracias a una nueva tecnología y un pensamiento innovador. Otras mejoras para simplificar el diseño, aumentar la fiabilidad, mejorar la logística y optimizar el servicio de este referente de la conmutación eléctrica avanzan a buen paso.

Gunnar Johansson
ABB Low Voltage Products
Västerås, Suecia
gunnar.c.johansson@se.abb.com

Respiración profunda

Optimización del caudal de aire en las minas subterráneas

MICHAEL LUNDH, JAN NYQVIST, MATS MOLANDER – Desde agosto hasta octubre de 2010, el mundo contuvo la respiración. A 700 m bajo la superficie del desierto de Atacama en Chile quedaron atrapados 33 mineros. Su encierro centró el pensamiento en la fragilidad de los aspectos esenciales de la vida: temperatura ambiente, comida, agua y aire. A medida que aumentan los precios de los productos básicos, los recursos que antes eran "inaccesibles" pasan a ser económicamente viables. Pero unos precios de mercado y unos umbrales de inversión rentables no bastan para vencer las dificultades físicas y técnicas que presenta la recolección de estos recursos difíciles. Siguen existiendo limitaciones físicas que definen lo que se puede conseguir de forma razonable y, sobre todo, de forma segura. Pero siguen apareciendo y evolucionando nuevas tecnologías que permiten que los seres humanos redefinan continuamente estas limitaciones. Se alcanzan nuevas fronteras, pero esto sólo es posible asegurando que los sistemas de apoyo a la vida avanzan al ritmo necesario.

La ventilación consume una cantidad enorme de energía, normalmente 100 GWh/año, lo que puede llegar a representar hasta el 50 por ciento del consumo total de energía de una mina subterránea.

1 Un conducto de ventilación de una mina subterránea.

En las minas subterráneas actuales se trabaja a profundidades de hasta 2.500 m en algunas minas de oro, y se puede llegar hasta los 3.600 m. Esto está tan por debajo de la superficie terrestre como La Paz, en Bolivia, está por encima de ella. La tendencia indica que la minería en el futuro será principalmente subterránea y a niveles aún más profundos, en lugares remotos. La industria minera, que se caracteriza actualmente por un alto grado de tareas móviles mecanizadas, realizadas en un entorno duro, busca activamente soluciones automatizadas que satisfagan las futuras demandas de operaciones seguras, sostenibles y productivas.

El aire subterráneo está contaminado por gases peligrosos como CO, NO_x, y CO_2 procedentes de los equipos movidos por motores diésel y de las voladuras, y también se puede encontrar naturalmente en el suelo radón y metano (en las minas de carbón). Una ventilación adecuada es esencial para asegurar un entorno de trabajo saludable en una mina subterránea → 1. El propósito es distribuir aire limpio en las áreas de producción donde se encuentra el personal de la mina. Se trata de una función de apoyo que influye en gran medida en la producción. La ventilación consume una cantidad considerable de energía, normalmente 100 GWh/año, lo que puede llegar a representar hasta el 50 por ciento del consumo total de energía de una mina.

Hay que distribuir aire limpio a las áreas de producción donde se encuentran los mineros y hay que calentar o enfriar ese aire que entra.

En la actualidad, los ventiladores principales de la superficie suministran a la mina aire limpio que se distribuye bajo tierra mediante ventiladores y/o reguladores de aire. Puede que sea necesario calentar o enfriar el aire que entra. La tecnología de vanguardia para el control es la ventilación a demanda (VoD); sin embargo, muchas minas no disponen de ningún control. Pero incluso la VoD tiene inconvenientes: no existe control de realimentación y la VoD utiliza un modelo de relación ventilador/regulador de aire complejo o débil.

Imagen del título
Un tercio del cobre que se extrae en todo el mundo procede del desierto más seco de la Tierra, el desierto de Atacama, en Chile. Foto cortesía de: © 2013 Michael Vogel.

2 Esquema del funcionamiento del control de la ventilación de una mina

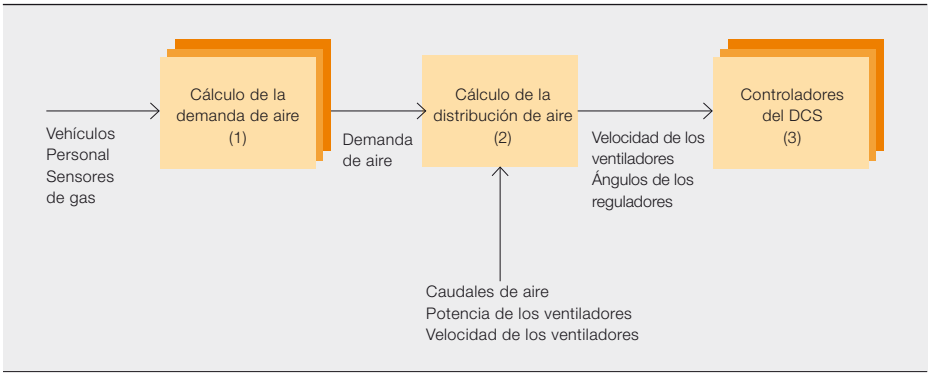


ABB ofrece ahora un método nuevo exclusivo para el control coordinado en toda la mina de los ventiladores y los reguladores de aire a fin de conseguir una solución fiable y optimizada energéticamente que suministre a la mina automáticamente el aire necesario. La solución se basa en modelos empíricos y depende de la realimentación de sensores de aire, que pueden ser, por ejemplo, sensores de gas, caudal o temperatura. Mediante modelos multivariable se describe la forma en que las variaciones de la velocidad de los ventiladores afectan tanto al caudal de aire como a la presión sobre los ventiladores. Los parámetros de los modelos se obtienen empíricamente a partir de datos operativos, que hacen el modelo fácilmente adaptable a nuevas condiciones.

Aplicación del MPC

El control avanzado de procesos se ha aplicado con éxito en muchas áreas, por ejemplo, en los procesos químicos y en el refinado. El método más generalizado es el control predictivo basado en modelos (MPC) [1], cuyos orígenes se remontan al decenio de 1970.

Un controlador predictivo basado en modelo utiliza un modelo explícito para predecir la respuesta futura de una planta. Basándose en esto es posible determinar señales de control que afecten a la planta para poder obtener la respuesta deseada de ella. Puesto que el comportamiento deseado suele ser un compromiso entre objetivos contradictorios, se plantea un problema de optimización para encontrar la “mejor” solución. Es esencial un modelo dinámico que describa la planta. La realización de un modelo dinámico puede requerir mucho tiempo: en los proyectos de control de procesos avanzados (APC) industriales normales, el mayor esfuerzo se dedica a encontrar un modelo suficientemente bueno. Normalmente la modelización incluye una fase de pruebas de la planta donde se juega con los valores de entrada para provocar los valores de salida de la misma. Se registran entradas y salidas, y estas señales que se han determinado son utilizadas posteriormente por métodos matemáticos para determinar un modelo. Esto se conoce como identificación del sistema [2].

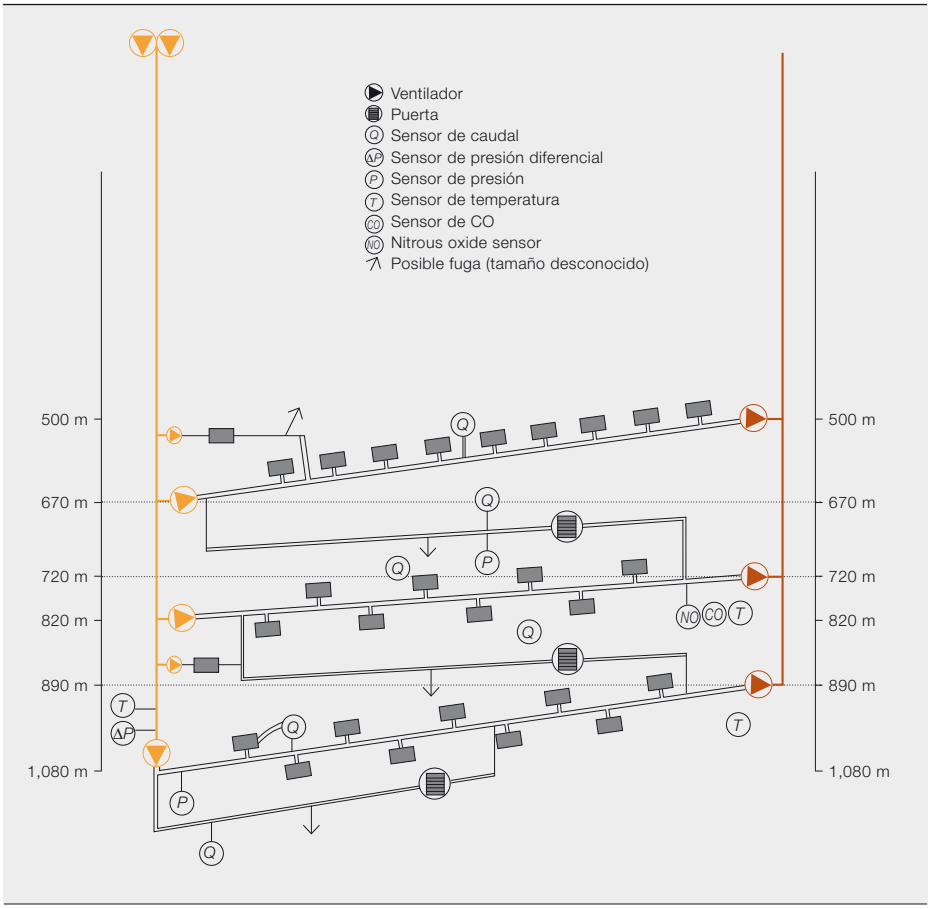
El nuevo método para la ventilación de las minas está inspirado por la metodología MPC. Los problemas de las minas subterráneas desafían la tecnología MPC porque la mina está cambiando continuamente. Se abren nuevos túneles a la producción y se cierran aquellos que se encuentran fuera de explotación. Cuando la mina se desarrolla, se añaden nuevos ventiladores y conductos de ventilación. También puede haber cambios inesperados de la estructura, por ejemplo, tras una voladura. Mediante una identificación automatizada de sistemas, basada en datos operativos o en experimentos realizados, se puede ajus-

Mediante modelos multivariable se describe la forma en que las variaciones de la velocidad de los ventiladores afectan tanto al caudal de aire como a la presión sobre los ventiladores.

Mediante una identificación automatizada de sistemas, basada en datos operativos o en experimentos realizados, se puede ajustar fácilmente el modelo simple de relación dinámica a las nuevas condiciones.

La velocidad óptima de los ventiladores se determina a partir de la demanda de aire en diversos conductos de ventilación y de las propiedades de los ventiladores y los motores que los impulsan.

3 Un gráfico esquemático de la mina utilizado para pruebas.



tar fácilmente el modelo simple de relación dinámica a las nuevas condiciones.

Presentación

El nuevo método para la ventilación de minas se asemeja al VoD actualmente en uso. La estructura se puede dividir en tres niveles para ambos tipos de solución. → 2 muestra una visión general de la función.

1) El nivel superior determina la demanda de aire real en diversos conductos de ventilación de la mina. Se obtiene la demanda a partir de la presencia de vehículos y personas en determinados emplazamientos. La demanda también se puede determinar mediante sensores, que miden las concentraciones de diversos gases en la mina. También puede haber ciertos conductos de ventilación en los que interese mantener el caudal lo más bajo posible, por ejemplo, para controlar la circulación en las rampas de acceso.

2) La funcionalidad del segundo nivel determina la distribución del aire optimizando la velocidad de los ventiladores que impulsan el aire por la mina. La velocidad óptima de los ventiladores se determina a partir de la demanda de aire en diversos conductos de ventilación y de las propiedades de los ventiladores y los motores que los impulsan. El segundo nivel también puede incluir los ángulos de apertura de los reguladores de aire que se utilizan para controlar la circulación de aire. Se determinan las velocidades de los ventiladores y los ángulos de los reguladores de aire para reducir al mínimo la potencia total real utilizada en la ventilación, satisfaciendo en cualquier caso la demanda de aire. Esta minimización se basa en un modelo que relaciona los cambios en las velocidades de los ventiladores con los producidos en el caudal de aire y la potencia real utilizada.

3) A continuación, se utilizan los valores óptimos de las velocidades en los ventiladores y los ángulos en los reguladores de aire en los controladores de nivel inferior del sistema de control distribuido (DCS).

En la nueva solución MPC se lleva a cabo una optimización general de la distribución de aire en el segundo nivel.

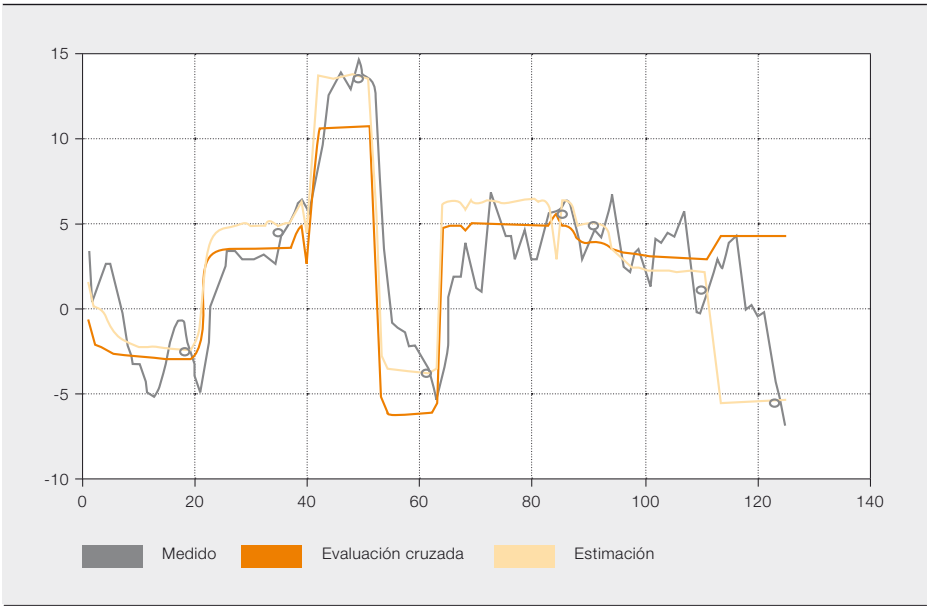
Modelización

La distribución del aire en la mina se ve influida por las velocidades de los ventiladores y, en su caso, por los ángulos de apertura de las compuertas. Estos son los actuadores de este sistema de control. Hay interacción entre los actuadores y la circulación de aire en la mina. Esto significa, por ejemplo, que una velocidad modificada en un ventilador no sólo afectará al caudal de aire en la conducción de ventilación donde se encuentra el ventilador, sino que también afecta al que exista en otras conducciones. Esta interacción es lo que dificulta el control del caudal de aire de forma óptima. Por ello es importante que el modelo capte este comportamiento de la mina.

Se podrían utilizar modelos multivariable dinámicos para describir la mina. Dichos modelos se utilizan en muchas aplicaciones, por ejemplo, en la industria del refino. Un inconveniente de estos modelos es que se requiere un esfuerzo importante para obtener un modelo. Esto no es deseable aquí, puesto que la forma de la mina está cambiando sistemáticamente, con ampliaciones, y nuevos caminos accidentales de circulación del aire a causa de las voladuras. No es práctico ni útil pasar semanas creando un nuevo modelo dinámico preciso de la mina cada vez que se produce un cambio.

En este caso se utiliza un modelo simple estático multivariable, que pueda captar la interacción esencial y el efecto de los

4 Evaluación de un modelo



cambios en los actuadores. El modelo se describe en forma incremental de la forma siguiente

$$\Delta Q = H_q \Delta\beta$$
$$\Delta p = H_p \Delta\beta$$
$$\Delta E = H_e \Delta(\beta^3)$$

donde Q es un vector del caudal de aire medido, p es un vector de las presiones sobre los ventiladores, β es un vector de las velocidades de los ventiladores y E un vector de las potencias de los ventiladores. Δ señala los cambios entre dos muestras. Los coeficientes de las matrices H_q, H_p, y H_e se obtienen a partir de experimentos sencillos o de datos normales de funcionamiento que permitan la automatización de la identificación del sistema.

Mediciones

Para identificar el modelo del sistema de ventilación de minas y poder utilizarlo en el control, hay que medir algunas variables:

- La concentración de gas y/o los caudales de aire en distintas ubicaciones que haya que controlar
- La potencia de ventilación de los ventiladores que haya que controlar
- La velocidad de los ventiladores que haya que controlar
- Las presiones sobre los ventiladores

El controlador ajusta la velocidad real del ventilador en función de la demanda actual.

El objetivo del control es mantener el caudal de aire deseado en varias conducciones de aire, mientras se reduce al mínimo la potencia necesaria para hacer funcionar los ventiladores.

Control

El objetivo del control es mantener el caudal de aire deseado en diversas conducciones de aire, mientras se reduce al mínimo la potencia necesaria para hacer funcionar los ventiladores. Las conducciones que suministran aire a las zonas de producción deben tener un caudal de aire que supere un caudal necesario. Pueden ser necesarias otras conducciones de aire con caudales que deben mantenerse tan pequeños como sea posible.

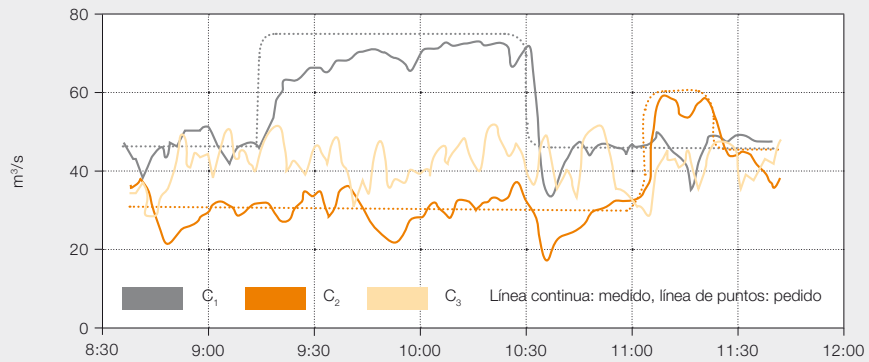
Esto se puede formular como un problema de optimización en el que se determinan las nuevas velocidades de los ventiladores para minimizar la potencia real de los mismos.

Durante el proceso de minimización, se tienen en cuenta limitaciones sobre el caudal de aire y las presiones diferenciales:

$$Q_{lo} \le Q(k) \le Q_{hi}$$
$$\Delta p_{lo} \le \Delta p(k) \le \Delta p_{hi}$$

Los vehículos están entrando y saliendo constantemente de las zonas de producción, lo que significa que varía la demanda de aire de las conducciones para dichas zonas.

5 Sistema que ajusta el caudal de aire a un cambio brusco en la demanda



Además, hay limitaciones en las velocidades de los ventiladores:

$$\beta_{lo} \leq \beta(k) \leq \beta_{hi}$$

Este problema de optimización se resuelve sobre una base cíclica donde se calculan las nuevas velocidades de los ventiladores. Se introducen los valores iniciales para cada optimización con los valores filtrados de las señales medidas.

Pruebas sobre el terreno

El nuevo método de control de la ventilación de la mina en forma optimizada se ha probado en una mina subterránea ya en funcionamiento. La mina ya estaba anteriormente equipada con un sistema VoD de ABB que conectaba todos los ventiladores y los sensores.

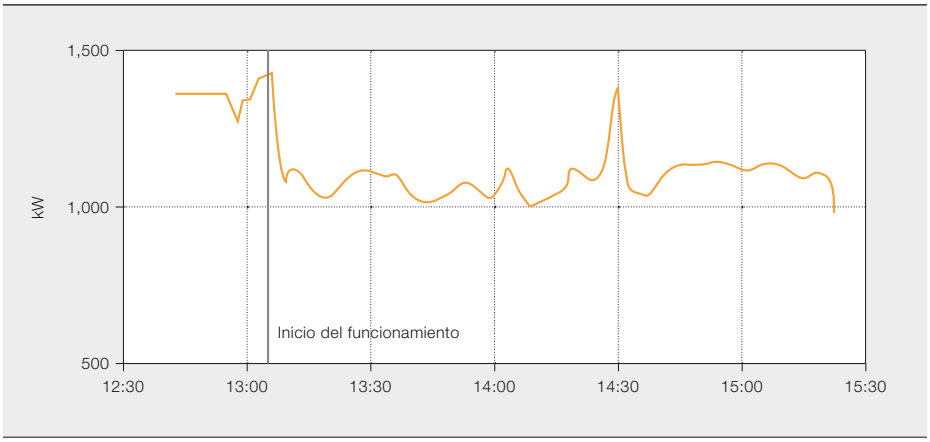
Un croquis esquemático de la mina se ilustra en ➔ 3. El área controlada de la mina se compone de tres niveles de producción desde una profundidad de 500 m hasta los 1.080 m. Hay dos ventiladores en superficie para la toma de aire, más un ventilador en la entrada y otro en la salida de cada nivel de producción. La línea naranja representa el aire limpio que entra y la línea marrón el aire contaminado que sale. En cada nivel, y en los túneles de acceso entre los niveles, la velocidad del aire se mide con sensores de flujo ultrasónicos. Las ubicaciones de los sensores está marcada con una Q en el croquis. Para cada ventilador se mide también el aumento de la presión estática.

Los vehículos entran y salen constantemente de las zonas de producción, lo que significa que la demanda de aire para las conducciones de ventilación también varía y que el sistema actual VoD de ventilación cambiará en correspondencia con las velocidades de los ventiladores. Esto proporcionará la excitación necesaria para identificar el modelo. Después de un filtrado adecuado y la eliminación de las variaciones de alta frecuencia, los modelos estáticos de la mina, descritos anteriormente, se identifican con el sencillo método de ajuste por mínimos cuadrados. Una evaluación de dos de estos modelos se muestra en ➔ 4. Uno de los modelos se identificó utilizando los mismos datos que se han medido y que se indican en la figura (estimado), y el otro (eval. cruzada) se identificó utilizando un conjunto completamente diferente de datos.

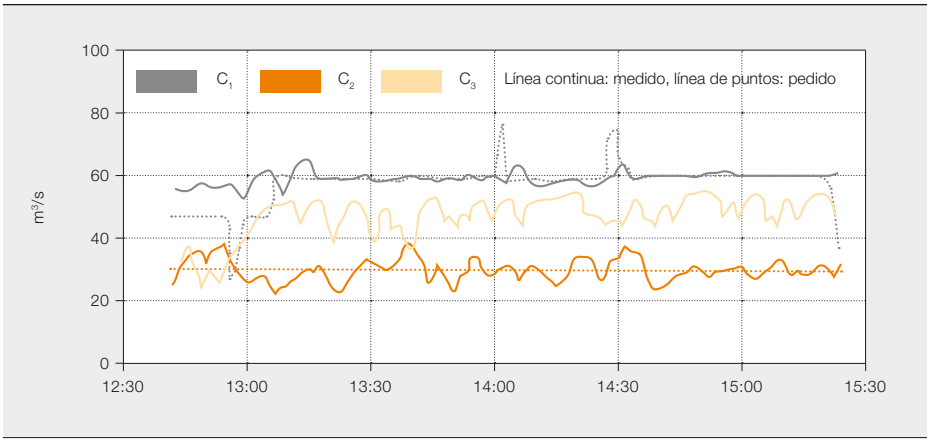
El optimizador de ventiladores, basado en los modelos identificados, se probó durante más de dos días en los que controló la ventilación de los niveles de producción. El resultado, registrado por el sistema System 800xA de ABB durante la prueba, se muestra en ➔ 5. El gráfico muestra cómo ajusta el sistema el caudal de aire, en el primer nivel de los tres de la mina, a un cambio brusco en la demanda (línea continua gris) y el caudal de aire en el segundo nivel a un cambio brusco en la demanda (línea continua naranja oscuro).

Un gráfico de otro registro grabado durante la operación se ilustra en ➔ 6. Los gráficos muestran la manera en que el optimizador puede reducir de forma importante la potencia del ventilador mientras mantiene las demandas de caudal de aire en las conducciones. Las pruebas han demostrado una posible reducción de la potencia del ventilador del 30 al 50 por ciento en comparación con el sistema existente que estaba en funcionamiento, a la vez que se mantienen los mismos caudales de aire.

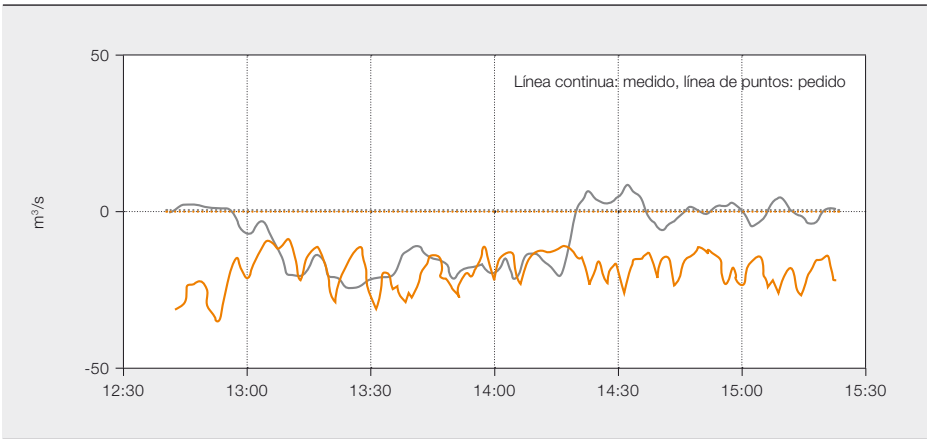
6 Gráfico de funcionamiento del modelo que muestra una potencia reducida del ventilador



6a Potencia total del ventilador



6b Caudales en las celdas



6c Caudales en las rampas de acceso

Logros para el sistema de aire

Las pruebas sobre el terreno indican que aplicando los modelos empíricos sencillos en un sistema de ventilación subterráneo se puede conseguir:

- Un control automático de un entorno de trabajo saludable en una mina subterránea, ajustado a la demanda actual de calidad del aire
- Un ajuste automático a nuevas condiciones de trabajo cuando la mina está evolucionando
- Una importante reducción de la potencia de los ventiladores mediante la optimización de las cargas distribuidas sobre los ventiladores existentes
- Una ventilación sólida y fiable automatizada mediante el control de realimentación

La aplicación a los sistemas de ventilación de la mina de estos modelos empíricos dinámicos aporta muchas ventajas. No sólo el propietario o el explotador de la mina se beneficia de unos menores costes operativos, sino que el entorno de trabajo consigue unos caudales de aire óptimos que se ajustan de la mejor forma a la actividad en cada punto. A pesar de la naturaleza evolutiva de la mina, el modelo existente se mantiene actualizado y asegura la optimización continua del aire y los ventiladores. También significa que no hay perjuicio para las eficiencias de las que se beneficia la mina, incluso en algunos de los entornos de trabajo más duros y más remotos.

El entorno de trabajo se beneficia de recibir un caudal de aire óptimo que se adapta de la mejor forma a la actividad de ese lugar.

Michael Lundh
Jan Nyqvist
Mats Molander
ABB Corporate R&D
Vasterås, Suecia
michael.lundh@se.abb.com
jan.nyqvist@se.abb.com
mats.a.molander@se.abb.com

Referencia

[1] Qin, S. J., y T. A. Badgwell, (2003), A survey of industrial model predictive control technology, Control Engineering Practice 11 (2003), p. 733–764.
[2] Ljung, L. (1999) System Identification – Theory for the user, Prentice Hall

A toda marcha

Tecnología para mejorar la productividad de la minería

LEN EROS, MIKE SMALE, DAVID KEECH – La gran demanda de materias primas básicas ha añadido presión al sector de la minería y ha creado una tendencia a operaciones de más envergadura con mayores objetivos de productividad. Sin embargo, ¿cómo pueden producir estas enormes operaciones de minería más, en condiciones ambientales difíciles y manteniendo, al mismo tiempo, los costes bajo control? Una manera de hacerlo es asociarse con una empresa que pueda ofrecer, no sólo conocimientos de ingeniería, sino también equipos resistentes e innovadores que satisfagan las necesidades de producción propias de la minería. En el aspecto de los equipos, ABB dispone de una amplia gama de productos probados sobre el terreno que se utilizan en cintas transportadoras, montacargas, machacadoras, máquinas de arrastre continuo, ventiladores, etc. Muchos de ellos requieren engranajes de transmisión y es esencial tener los mejores productos que los reduzcan si se desean alcanzar los objetivos de coste, mantenimiento y producción.

Los desarrollos tecnológicos han permitido explotar menas con concentraciones menores y mineralogía más compleja minimizando al mismo tiempo el aumento de los costes.

La industria minera global es enorme: a finales de 2012, había más de 400.000 millones de dólares invertidos en programas de capital activos [1]. Y una gran competencia hace que la productividad de la minería sea muy importante. La mayoría de los aumentos de la productividad logrados en el siglo pasado se obtuvieron gracias a un proceso más eficiente del mineral y al uso de equipos a mayor escala. De esta forma, los desarrollos tecnológicos han permitido explotar menas con concentraciones menores y mineralogía más compleja minimizando al mismo tiempo el aumento de los costes.

En la actualidad, empresas como ABB que pueden proporcionar soluciones técnicas completas al sector minero tienen una ventaja derivada de la necesidad de abordar con solvencia la enorme escala y la complejidad de los procesos modernos que producen materiales a un ritmo cada vez más acelerado.

ABB no sólo tiene experiencia en el sector, sino también una amplia gama de productos probados sobre el terreno que cumplen las necesidades de prestaciones y eficiencia de los trabajos de minería. Los productos de ABB se utilizan en equipos tales como cintas transportadoras, montacargas, machacadoras y ventiladores y en máquinas y sistemas de arrastre continuo. Debido a la naturaleza dura y exigente de los trabajos de minería, unos requisitos fundamentales del producto son la resistencia y la fiabilidad.

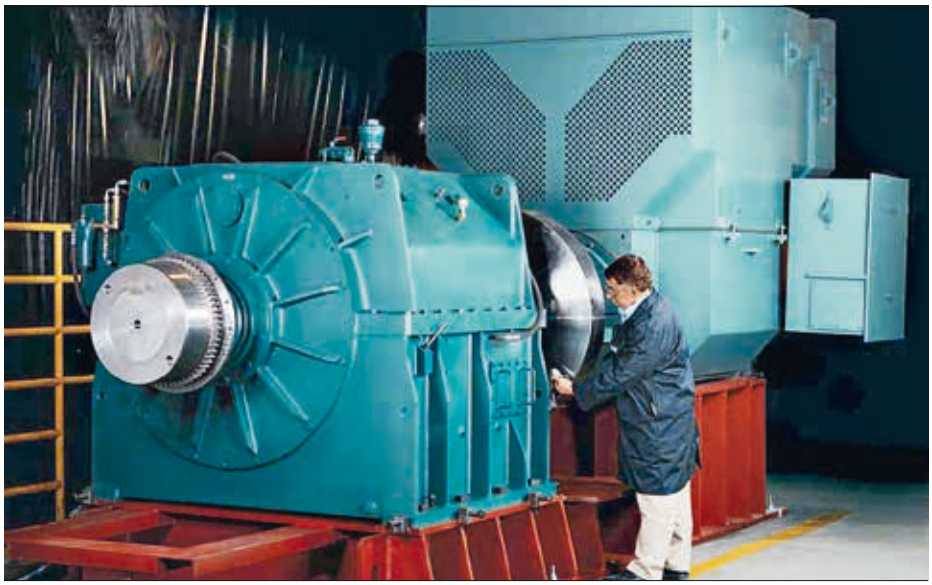
El ahorro de energía tiene también su efecto en el balance económico de las empresas mineras, por lo que los productos eficientes energéticamente suponen una importante ventaja. En líneas generales, las empresas mineras obtienen un gran provecho de una asociación capaz

Las empresas capaces de ofrecer soluciones técnicas completas tienen una ventaja derivada de la necesidad de abordar con solvencia la enorme escala y la complejidad de los procesos modernos que producen materiales a un ritmo cada vez más acelerado.

Imagen del título
Para mantenerse en la vanguardia de una minería intensiva a gran escala, las modernas empresas mineras colaboran estrechamente con socios de ingeniería que, no solamente tienen los conocimientos, sino también una amplia gama de productos adecuados para las exigentes condiciones propias de las operaciones de excavación.

El ahorro de energía influye también en el balance económico de las empresas mineras, por lo que los productos eficientes energéticamente suponen una importante ventaja.

1 Accionamiento con una 2.500 K Dodge CST, un motor Baldor Reliance de 2.500 CV, un volante de inercia opcional de 3.150 libras y acoplamientos de alta y baja velocidad.



de proporcionar una solución total: eléctrica y mecánica.

Productos que disminuyen el coste total de propiedad

La cartera de productos eléctricos de ABB incluye una completa gama de motores, que incluye equipos de minería a prueba de explosiones y accionamientos de baja y media tensión de velocidad variable (VSD) de muchos tipos. La cartera de productos mecánicos de ABB abarca grandes mecanismos de engranajes, transmisiones de puesta en marcha controlada, cojinetes montados, acoplamientos y poleas. La oferta de productos incluye asimismo sistemas de distribución y acondicionamiento de la energía, y aparamenta para llevar la energía eléctrica hasta los equipos de minería.

ABB ofrece la línea más completa del mundo de grandes motores de CA y para la minería. La línea incluye motores de serie y personalizados Baldor-Reliance® de hasta de 11 MW (15.000 CV), y hay también máquinas de inducción y síncronas de hasta 65 MW (87.000 CV). Esta oferta incluye las configuraciones NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) e IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), que garantizan a los clientes que dispondrán de un motor que cumple las normas de bastidor, carcasa y ciclo de trabajo para aplicaciones concretas. Los motores para minería se caracterizan por una construcción externa extraordinariamente resistente para adaptarse a un entorno difícil, así como con cojinetes y sistemas de sellado que prolongan su vida útil.

El Dodge CST está diseñado para mantener una distribución de la carga superior y minimizar así las cargas y los esfuerzos en todos los componentes de una cinta transportadora.

ABB suministra también lo más reciente en tecnología de accionamiento de cintas transportadoras en forma de sistemas de accionamiento sin engranajes. Se utilizan aquí motores síncronos de baja velocidad con convertidores de frecuencia y reducción del número total de componentes para aumentar la fiabilidad del sistema y disminuir las necesidades de mantenimiento.

Reductores de engranajes

En sistemas convencionales de accionamiento por engranajes, la potencia del motor se puede transmitir al sistema de

2 Un 210 K MagnaGear XTR que mueve una cinta transportadora de 365 m de longitud con una elevación de 26 m.

La mayor base instalada está en China, con más de 2.000 CST en funcionamiento.

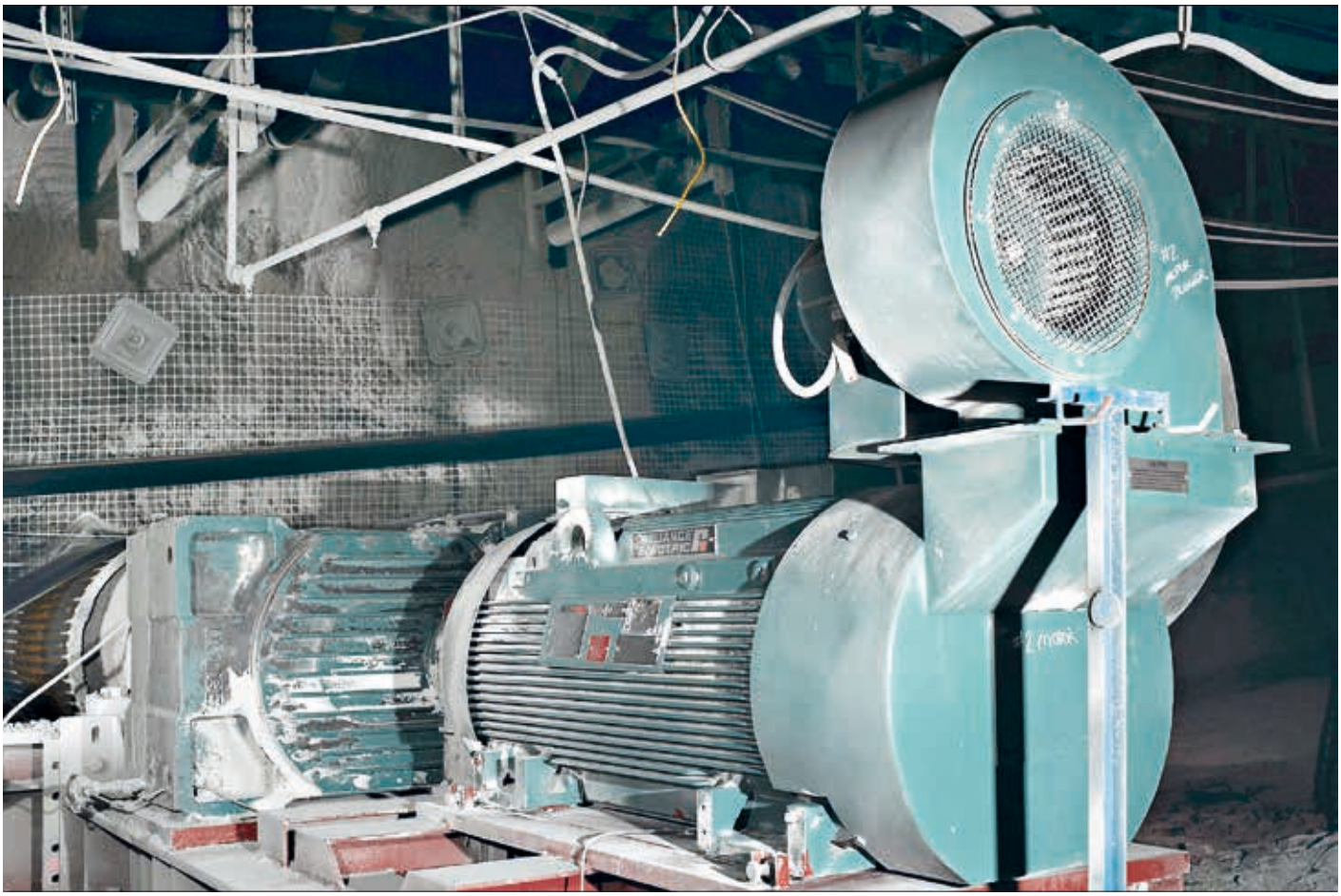
cinta transportadora mediante diversos reductores de engranajes patentados de ABB que incluyen transmisiones de arranque controlado (CST) y reductores MagnaGear XTR®, ambos proyectados especialmente para aplicaciones mineras.

Dodge® CST

El Dodge CST se ha diseñado para que proporcione una distribución de cargas que minimice las cargas y los esfuerzos en todos los componentes de la cinta transportadora. En esencia, el CST es una caja reductora “dos en una” que combina un reductor planetario con un embrague en húmedo integrado. Cuando se acopla a un motor de inducción de CA, la caja reductora CST convierte la entrada del motor de alta velocidad y par reducido en una salida de baja velocidad y par elevado. Ofrece valores de par de hasta 400 kNm (3.500.000 lbf pulg). La potencia máxima del motor está disponible en toda la gama operativa. La unidad de embrague absorbe las cargas de choque y protege el motor, la caja reductora, los cojinetes, las poleas, las cintas transportadoras y los empalmes. El diseño resistente permite un control total de las car-

El diseño resistente permite un control total de las cargas de inercia más difíciles, como las presentes en cintas largas y con múltiples accionamientos sincronizados.

3 Un reductor 700 K Magna Gear XTR conectado a un motor Baldor Reliance de 700 CV para minería en una mina subterránea.



gas de inercia más difíciles, tales como las presentes en cintas largas y las que incluyen múltiples accionamientos sincronizados → 1. El sistema de embrague en húmedo, dispuesto internamente en el lado exterior de la caja reductora, permite poner en marcha el motor en condiciones de ausencia de carga. Como el sistema de control basado en el PLC embraga gradualmente, el árbol secundario empieza a girar y acelera suavemente hasta alcanzar la velocidad de accionamiento deseada en un tiempo predeterminado.

La facilidad de servicio es también un factor clave al elegir un sistema de accionamiento. Los sistemas CST son fáciles de manejar y mantener y no exigen los conocimientos técnicos propios de sistemas de control más complejos. Esto es especialmente importante en lugares aislados que dependen de los recursos existentes localmente para el servicio y el mantenimiento.

El Dodge MagnaGear XTR es un innovador reductor de velocidad de uso generalizado en aplicaciones exigentes que necesitan valores de par de hasta 240 kNm.

En 2012, se instalaron más de 3.000 CST en todo el mundo y actualmente están instalándose seis en una mina de cobre en América del Sur, una de las instalaciones más complejas de su tipo. A una altitud de 5.000 m, incluirá cuatro CST de 2.250 kW (3.000 CV) y dos de 1.400 kW (1.900 CV), con bases y frenos de alta velocidad.

Para otro cliente, ABB ha suministrado un diseño que ofrecía ahorros del 20 por ciento en el coste de inversión del accionamiento, con ahorros adicionales en el coste instalado del sistema de cinta transportadora. Tenía un coste bastante menor que el diseño especificado, pero

suministraba más potencia total. Con tres accionamientos de 1.875 kW (2.500 CV) y casi 3,7 km de cinta cargada, esta mina ha fabricado hasta 100 millones de toneladas de carbón anualmente.
La mayor base instalada está en China, con más de 2.000 CST en funcionamiento. Una empresa tiene 400 CST que se utilizan en 17 minas de carbón con un área total de 10.000 km^2.
Equipado con una sofisticada supervisión a distancia, este sistema ha conseguido una tasa de disponibilidad del 98 por ciento.

Dodge MagnaGear XTR

El Dodge MagnaGear XTR es otro innovador reductor de velocidad ampliamente utilizado para aplicaciones exigentes que precisen valores de par de hasta 240 kNm (2.100.000 lbf pulg) → 2–3. En los tamaños por encima de 44 kNm (390.000 lbf pulg) incorpora un diseño de engranajes planetarios, que es una solución compacta, duradera y económica para aplicaciones de par elevado. Los reductores MagnaGear XTR pueden utilizarse con una amplia variedad de sistemas de arranque suave y control, incluyendo arranques suaves electrónicos, VSD y acoplamientos fluidos.
Los reductores MagnaGear XTR están diseñados para que igualen o superen la vida mínima de los cojinetes indicada por la AGMA (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes). La vida útil de los cojinetes, de hecho, es más del doble de la que se encuentra en muchos reductores de la competencia. Se incorpora en este diseño una disposición de sellado en tándem y un sistema de refrigeración eficiente que permiten un funcionamiento con poco mantenimiento. El MagnaGear dispone de una línea asociada de accesorios adaptados a aplicaciones concretas, incluyendo placas base, montajes de base giratoria, configuraciones para accionamientos en túnel, brazos de par, topes internos antilevantamiento, acoplamientos y ventiladores eléctricos.
Los cojinetes montados en el Dodge constituyen el estándar de la industria. Los tipos ISAF e ISN métrico ofrecen el único sistema push/pull de montaje de adaptador que reduce el tiempo de instalación, mientras que la prolongación concéntrica del eje elimina prácticamente la corrosión por frotamiento. Un cojinete estanco de apoyo de gran calibre del Dodge para aplicaciones mayores incorpora un sistema patentado de instalación y desmontaje dispuesto en un adaptador y asistido hidráulicamente. Estos cojinetes no sólo se instalan y desmontan rápidamente, sino que se montan, sellan y lubrican en fábrica. La oferta de transporte mecánico de ABB se completa con poleas y una diversidad de acoplamientos.

Más que productos

Puesto que frecuentemente los conocimientos de ingeniería de las empresas mineras son limitados, a menudo se asocian con fabricantes que no sólo pueden ofrecer productos adecuados, sino también dichos conocimientos. Los expertos en minería de ABB, junto con un equipo de la industria minera de Baldor, comprenden las dificultades a las que se enfrenta la industria y conocen las mejores maneras de aplicar productos y programas que aporten soluciones acertadas.
El diseño de los sistemas de accionamiento de cintas transportadoras es un buen ejemplo de procedimiento conjunto. El objetivo aquí es diseñar una cinta que transporte tanto material como sea posible con las mejores prestaciones y fiabilidad. Las dificultades son enormes: la tendencia en la industria es utilizar cintas transportadoras que transporten mayores cargas a mayores distancias. Una cinta puede que tenga que transportar hasta 30.000 toneladas de material por hora a lo largo de distancias de 10 a 20 km, 24 horas al día. Al principio del proceso de diseño, el equipo usa un programa estándar de la industria (“Belt Analyst”) para configurar el sistema de accionamiento con la potencia de salida correcta y optimizar la selección de motores, VSD, engranajes, cojinetes, acoplamientos y poleas.
ABB permanece a la vanguardia de la tecnología de la minería en colaboración con diversas universidades y organizaciones industriales de todo el mundo. Los proyectos de investigación han cubierto la modelización de los motores de la siguiente generación y aspectos como la transferencia de calor y la refrigeración de motores. En relación con la preparación de normas, la empresa tiene miembros que participan en diversos comités técnicos de NEMA, IEC, IEEE y CEMA (Asociación de Fabricantes de Equipos de Cintas Transportadoras).
Con esa gama tan completa de productos y una tan amplia experiencia en el sector, ABB puede resolver los problemas de los clientes proporcionando soluciones armonizadas con los motores, sistemas de control, transmisiones, cojinetes, acoplamientos y poleas adecuados. ABB seguirá identificando y construyendo soluciones de aplicaciones específicas para la industria que aporten beneficios a los usuarios finales con el objeto de reducir el coste total de propiedad gracias a una vida útil más larga y una mayor fiabilidad junto con menores tiempos de inmovilización, mayor rendimiento operativo y ahorro en los costes de la energía.

Len Eros
ABB Motors and Generators
Littleton, CO, Estados Unidos
len.eros@us.abb.com

David Keech
Mike Smale
Baldor – miembro del Grupo ABB
Greenville, SC, Estados Unidos
david.keech@baldor.abb.com
mike.smale@baldor.abb.com

Referencia

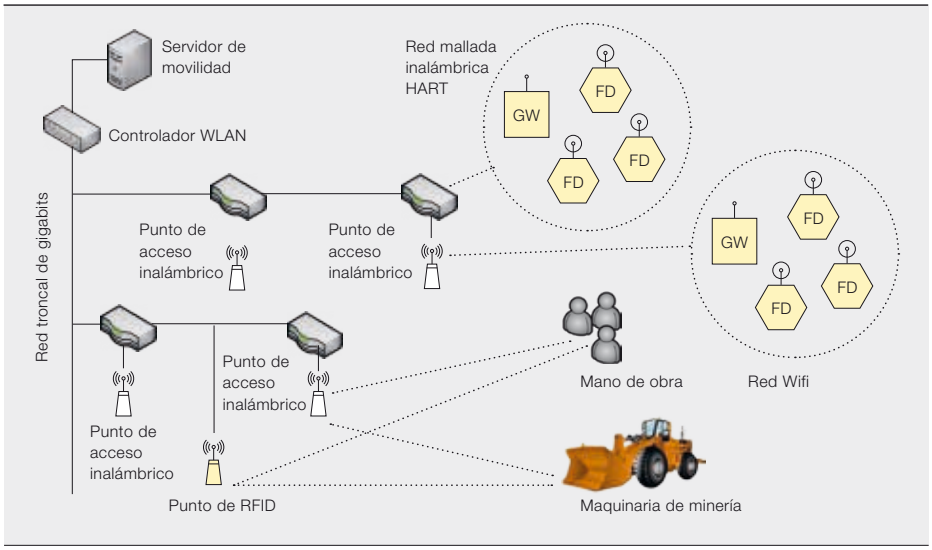
[1] “Trends in the Mining & Metals Industry: Mining’s Contribution to Sustainable Development (Tendencias en la minería y la industria del metal: aportación de la minería al desarrollo sostenible)”, International Council on Mining & Metals. Oct. 2012.

Mina de información

Integración de equipos móviles en la minería subterránea

STEFAN L. SJOSTROM, KJELL G. CARLSTEN, KRISTER LANDERNAS, JONAS NEANDER –
Como a nadie extrañará, el mineral metálico de ley elevada más fácil encontrar ya se ha extraído de la tierra. Esto significa que las empresas de minería tienen que trabajar más duro para extraer el resto de los recursos. Hay, sin embargo un área de tecnología que está menos avanzada en la minería que en otros sectores y que ofrece la oportunidad de aumentar sustancialmente la eficiencia operativa y la rentabilidad. Se trata del área de la automatización y la integración de los datos en el área de la minería subterránea. La falta de la sofisticación técnica implantada ya en otros sectores significa que la optimización de toda la cadena de valor, desde la mina hasta la factoría, sigue siendo a menudo un sueño. Sin embargo, ABB entrega sistemas que permiten a los mineros optimizar la utilización de los equipos de minería subterránea, aumentar la productividad de la mina y reducir el consumo de energía.

1 Una red totalmente integrada proporciona al operario una visión completa del proceso de la mina. (FD = dispositivo de campo; GW = pasarela.)



La minería ha sido una de las primeras industrias desarrolladas por el hombre. De hecho, la mina más antigua conocida es la Lion Cave (Cueva del León) en Suazilandia, donde se extraían ingredientes para preparar pigmentos y cuya datación con radiocarbono indica una antigüedad de unos 43.000 años [1]. Otras minas de edad similar proporcionaron materiales para los fabricantes de herramientas. Aunque la minería se ha mecanizado mucho durante el siglo pasado, la incorporación de tecnología en las minas generalmente queda por detrás de la de otros sectores, como el petróleo y el gas o la producción de pasta y papel. Sin embargo, a medida que los minerales y otros yacimientos deseables se vuelven más difíciles de extraer, se va haciendo más importante una mayor automatización e integración de datos para el éxito de la minería.

Simultáneamente, la formación de los trabajadores debe aumentar para facilitar esta expansión de la tecnología. Son necesarios unos operarios debidamente cualificados para la optimización de productos y procesos, la planificación del mantenimiento y la gestión medioambiental. En términos generales, habrá menos trabajadores, más cualificados, y abarcarán toda la cadena de valor. Es probable que algunos de estos operarios podrán controlar varias minas, ayudados por sensores y sistemas automatizados que proporcionen, por medio de una red troncal de comunicaciones, la información en tiempo real necesaria para controlar todos los productos y procesos → 1. Esta integración permite que la mina optimice la utilización de los equipos de minería subterránea y que aumente su productividad al tiempo que se reduce el consumo de energía. La plataforma Extended Automation System 800xA de ABB y los productos asociados facilitan la automatización de la mina y la integración de datos.

Las ofertas de ABB para la minería subterránea permiten integrar los datos en tiempo real de equipos subterráneos de distintos tipos y fabricantes con el sistema abierto de control de procesos System 800xA → 2. Esto permite ver y aprovechar mejor la flota de maquinaria, incluidas operaciones como localización de máquinas, informes de su estado y transmisión de los entornos operativos reales subterráneos. El diseño y la aplicación de dichos sistemas, incluyendo la selección y el envío de la información para impulsar la actuación empresarial, es una ventaja competitiva crítica.

Automatización de las minas

En general, muchas de las operaciones de una mina están razonablemente bien automatizadas por sí mismas, pero su integración en un sistema maestro suele ser insuficiente o no existir en absoluto. Esto se traduce en una suboptimización y una perspectiva no homogénea del proceso.

Un elemento importante que contribuye a esta deficiencia es la falta de una infraestructura de comunicaciones versátil, inalámbrica o por cable, en el entorno de la minería subterránea. Eso dificulta la elaboración de una visión general de las distintas operaciones en la mina, o un control completo sobre las mismas. También se traduce en la incapacidad para optimizar toda la cadena de valor, desde el frente de mina a la factoría. Una de las

A medida que los minerales y otros yacimientos deseables se vuelven más difíciles de extraer, se hace esencial una mayor automatización e integración de datos para el éxito de los trabajos de la minería.

Imagen del título
Aunque todo ha cambiado mucho en el mundo de la minería, se necesita aún más automatización e integración de datos.

2 Integración de los datos de las operaciones con el sistema de control

razones de esta deficiencia puede ser que la industria de la minería aún no se ha enfrentado con las mismas presiones para la reducción de costes y la optimización del producto que otras empresas comparables.
Sin embargo, la situación está cambiando rápidamente, y la mejor forma de progresar es introducir un sistema de comunicación flexible y multifuncional en el entorno de la minería subterránea.

Comunicación

El enlace clásico de radio UHF/VHF se ha usado ampliamente para las comunicaciones de voz en las minas subterráneas durante muchos años. Pero este método de comunicación carece de adaptabilidad y funcionalidad. Una red inalámbrica de área local (WLAN) es una solución mucho mejor. De hecho, una serie de compañías mineras (por ejemplo, LKAB y Boliden, de Suecia) han instalado redes WLAN subterráneas. Dichas redes se utilizan más frecuentemente para voz que telefonía y transmisión de datos IP (VoIP), pero también permiten el rastreo de los equipos móviles y la comunicación con ellos.

Seguimiento

La capacidad de seguimiento permite determinar la ubicación de un smartphone, un ordenador portátil, una etiqueta de identificación por radiofrecuencia (RFID) o un aparato incorporado. Se puede realizar el rastreo empleando cualquier cliente de WLAN. Normalmente, la ubicación se obtiene calculando la posición del cliente con respecto a cualquier posición fija o puntos de anclaje de coordenadas conocidas (a menudo los puntos de acceso de WLAN). A continuación, se transforma esta posición relativa en un sistema de coordenadas globales y absolutas. En general, cuanto más numerosos son los nodos de anclaje, mayor será la precisión de la localización.
Por ello, para que una funcionalidad como el rastreo actúe de forma fiable, debe tenerse cuidado a la hora de planificar y desplegar una red inalámbrica subterránea. Una dificultad importante es el exigente entorno de radio propio de las minas subterráneas, con factores como la topología de las galerías, la geología variable, la atenuación de la señal en la roca y los materiales de construcción, la potencia frente a la seguridad intrínseca y las interferencias electromagnéticas. ABB ha llevado a cabo varias pruebas sobre el terreno para mostrar tecnologías relevantes y dispone de instalaciones experimentales que demuestran el seguimiento de equipos de minería subterránea.

Integración de equipos móviles

Una vez que se ha instalado bajo tierra una infraestructura de comunicaciones y se ha informatizado la flota de equipos móviles, se abren nuevos mundos de posibilidades de intercambio de datos. Por ejemplo, se pueden pasar los planes de perforación y las secuencias de carga a las máquinas de producción y recibir posteriormente online el informe de los resultados de sus acciones. La integración de los equipos móviles en el sistema de control de producción tiene además otros usos:

- Hacer llegar en un formato útil a los sistemas de equipos móviles los resultados de los pasos iniciales del trabajo de minería (geología, cálculo de la mena, reconocimiento y diseño de la mina, y planificación de la producción).
- Recuperar los resultados comunicados por los equipos móviles, tales como el estado de producción y los informes de producción, los análisis y estadísticas, y retransmitirlos a los usuarios relevantes.
- Recuperar las estadísticas de ejecución y los datos de mantenimiento de los sistemas de a bordo. Parte de esta información es utilizada por el sistema de control de procesos y parte (principalmente los datos de mantenimiento) se transferirá a otras partes, como el sistema de mantenimiento (o será captada por ellas).
- Supervisar online el estado de los equipos móviles, incluyendo la información de su localización.

Las interfaces con el sistema de control de la producción se basan en las normas del sector. La interfaz entre las máquinas móviles y el sistema abierto de control de procesos de ABB es el OPC, específicamente el OPC Data Access (OPC DA), que trata con datos en tiempo real, el OPC Alarms and Events (OPC AE) y el OPC Historical Data Access (OPC HDA). Los conjuntos de datos y la denominación de los elementos se ajustan a IREDES, la norma internacional de intercambio de datos en la excavación de rocas. Esta norma rige el intercambio de datos entre la maquinaria de minería y los sistemas informáticos de oficina y define un lenguaje electrónico común para los sistemas de automatización de las minas.

La mina online: integración móvil

- La información de localización y otros datos de los equipos móviles se obtienen por medio de la infraestructura WLAN. Después de su consolidación, se pueden examinar en el

3 Colaboración con Atlas Copco

La cooperación de ABB con Atlas Copco es una excelente oportunidad para ambas empresas. Como cada socio se centrará en sus competencias básicas, el desarrollo conjunto creará un gran valor añadido para las minas subterráneas.

"Nuestros futuras compañías de minería desean un centro de información convincente, multifunción, para optimizar la utilización de nuestras máquinas subterráneas. Estoy seguro de que este proyecto supondrá un salto hacia adelante en la optimización de la minería subterránea."

David Shellhammer
Underground Rock Excavation
Presidente de Atlas Copco

Algunas empresas de minería han instalado redes WLAN subterráneas para telefonía y transferencia de datos VoIP, pero también permiten seguir los equipos móviles y comunicarse con ellos.

sistema abierto de control de procesos de ABB. Esta información combinada constituye la base de una representación precisa y online de las actividades en curso y el progreso de los trabajos en la mina. Los resultados de este análisis ayudan a proporcionar más optimización en otras áreas: en vez de seguir una rutina predeterminada, el control de la ventilación se adaptará para acomodarse a las condiciones y necesidades reales que se deducen del estado de los equipos móviles.

– La disponibilidad de los equipos móviles mejorará al combinar los supervisores de recursos los datos de las máquinas y del entorno del proceso para programar con precisión el mantenimiento.
– La forma en que los equipos móviles se unen a la planificación de actividades se puede supervisar online y las desviaciones ser utilizadas como datos cuando se vuelvan a recalcular las actividades.

La solución ofrecerá a los futuros explotadores de minas información y oportunidades inigualables para el control de procesos.

En el futuro, podría cerrarse el bucle de control para redirigir automáticamente o replanificar los equipos móviles cuando sea necesario. Ya, el mero hecho de que pueda compilarse información referente al entorno (situación del tráfico, estado de la maquinaria de producción, etc.) y ser puesta a disposición de los operarios de las máquinas móviles aumentará su capacidad para tomar decisiones inteligentes cuando dejen de coincidir los planes y la realidad, como pasa frecuentemente en el entorno de la mina.

Instalación piloto

ABB y Atlas Copco Underground Rock Excavation, Suecia (Atlas Copco) han desarrollado un innovador sistema de integración móvil que incluye la plataforma de automatización System 800xA de ABB y la maquinaria de minería de Atlas Copco. Se hizo una demostración con éxito en una instalación piloto en junio de 2012. La solución se está instalando actualmente en la mina de prueba de Atlas Copco en Kvarntorp, Suecia → 3. Esta tecnología ofrecerá a los explotadores de minas unas oportunidades y una información inigualables para el control del proceso.

El proyecto integra datos importantes de los equipos de perforación subterráneos, cargadoras y camiones de Atlas Copco en la plataforma del System 800xA de ABB para una mejor visualización y utilización de la flota de máquinas. Al rastrear bajo el terreno la ubicación de las máquinas, su estado y las condiciones operativas reales, esta solución proporcionará la información necesaria para ayudar a los explotadores de la mina a tomar las decisiones correctas en el momento oportuno y mantener la producción en marcha sin problemas.

De acuerdo con los requisitos de los clientes y las exigencias futuras de la minería, Atlas Copco y ABB seguirán desarrollando y añadiendo más funcionalidad a este concepto.

Stefan L. Sjostrom
ABB Process Automation
Umeå, Suecia
stefan.l.sjostrom@se.abb.com

Kjell G. Carlsten
ABB Process Automation
Vasterås, Suecia
kjell.g.carlsten@se.abb.com

Krister Landernas
Jonas Neander
ABB Corporate Research
ABB Corporate Research
Vasterås, Suecia
krister.landernas@se.abb.com
jonas.neander@se.abb.com

Referencias

[1] [Mining (La minería). Descargado el 26 de septiembre de 2012 de http://en.wikipedia.org/wiki/Mining

El sistema OCTOPUS-Onboard

Sistema de ABB para control del movimiento, predicción de la respuesta y apoyo a la decisión con mal tiempo

LEON ADEGEEST – En la actualidad, industrias tales como las de extracción de petróleo y gas en alta mar están instalando unidades de producción flotantes mayores y más pesadas en sus campos de explotación, lo que exige una gran capacidad de carga. En consecuencia, se suelen transportar a largas distancias cargas de grandes dimensiones que pesan miles de toneladas en buques de gran desplazamiento, lo que exige sistemas de tecnología de vanguardia para el control de movimientos, la predicción de la respuesta, el apoyo a la decisión con mal tiempo y la evaluación de intervalos de tiempo favorable a fin de proteger la valiosa carga. El sistema de control y predicción de ABB, OCTOPUS-Onboard, ha sido instalado en el buque de carga pesada mayor y más avanzado construido hasta la fecha, el Dockwise Vanguard.

1 El Dockwise Vanguard tiene la capacidad de transportar cargas de tamaños extraordinarios tales como plataformas de perforación o conjuntos de grandes dimensiones.

Con una capacidad de carga de 117.000 toneladas métricas, una eslora de 275 m y una manga de 70 m, la capacidad que tiene el Dockwise Vanguard para trasladar con seguridad cargas de gran tamaño y muy pesadas, tales como equipos de perforación o plataformas marinas, es única en el campo especializado del transporte marítimo pesado → 1. Los buques como éste permiten el transporte de estructuras completas, montadas, lo que reduce el tiempo de puesta en servicio, además de ofrecer capacidad como dique seco para grandes buques como los dedicados a perforaciones marinas.

Los sistemas OCTOPUS mejoran la seguridad y el rendimiento de los buques, lo que reduce sustancialmente los costes para los clientes.

El sistema modular OCTOPUS-Onboard desarrollado por Amarcon, un miembro del Grupo ABB, ofrece supervisión de movimientos, predicción de la respuesta y apoyo a la decisión con mal tiempo a bordo del Dockwise Vanguard. También se ha instalado el sistema de ABB de medición de movimientos con tres sensores, por lo que se pueden presentar y supervisar en el puente del buque áreas tan críticas como la carga. Los sistemas OCTOPUS mejoran la seguridad y el rendimiento de los buques, reduciendo sustancialmente los costes para los clientes. Forman parte de la serie de sistemas Vessel Information and Control (VICO) de ABB, que ofrece una gama completa de soluciones de automatización y asesoramiento realizadas específicamente para aplicaciones marinas, basada en tecnologías de automatización de procesos de ABB, bien probadas sobre el terreno. Instalados en unos 200 buques, los sistemas OCTOPUS proporcionan información práctica para la toma de decisiones en la mar, vigilando, midiendo y ofreciendo recomendaciones de forma continua sobre el movimiento, el estado y la situación del buque, la utilización del combustible y las prestaciones, la hidrodinámica y la posición del buque.

El sistema modular OCTOPUS-Onboard proporciona supervisión del movimiento, predicción de la respuesta y apoyo a la decisión con mal tiempo.

El sistema utiliza información y predicciones meteorológicas cruciales, lo que maximiza las operaciones eficientes del buque y ayudan a la tripulación a tomar las mejores decisiones posibles para la entrega e instalación de su carga. OCTOPUS forma parte de la iniciativa Smart Marine de ABB, que ofrece una serie de soluciones para la industria basadas en su experiencia en la propulsión marina y en los sistemas eléctricos, de automatización y de asesoramiento.

Imagen del título
El Dockwise Vanguard, con el sistema de ABB OCTOPUS-Onboard de control y predicción instalado

Leon Adegeest
Amarcon, miembro del Grupo ABB
Dalfsen, Países Bajos
leon.adegeest@nl.abb.com

Convergencia de las salas de control

La fusión de la supervisión industrial y los sistemas de control con las operaciones de los centros de datos

MARINA THIRY, ERIC OLSON, BOB FESMIRE – Pocos sectores industriales han progresado tan rápidamente como el de los centros de datos. Desde las simples “salas de ordenadores” de hace 20 años, los centros de datos se han convertido en instalaciones complejas, muy especializadas y autónomas. Este crecimiento se ve impulsado por el deseo de la sociedad, aparentemente inextinguible, de producir datos, y ha llevado a estos centros a convertirse en grandes consumidores de energía eléctrica. Los nuevos centros de datos se han proyectado y diseñado para ser eficientes energéticamente pero, por cada centro de este tipo, existen cientos de instalaciones de tamaño medio que afrontan situaciones difíciles, a veces en varios emplazamientos. Frecuentemente, las herramientas que se utilizan para controlar estas instalaciones no satisfacen las demandas que se les exigen. Hay una necesidad reconocida por todo el mundo de supervisión y gestión unificados de centros de datos. Decathlon, la solución de ABB para la gestión de infraestructuras de los centros de datos, es exactamente un sistema de estas características.

El crecimiento a lo largo de las dos últimas décadas de los centros de datos en tamaño, cantidad y complejidad ha sido asombroso, y actualmente hay una potente industria dedicada a atender a este sector.

Hace veinte años, los centros de datos eran simplemente conocidos como salas de ordenadores. El crecimiento a lo largo de las dos últimas décadas de los centros de datos en tamaño, cantidad y complejidad ha sido asombroso, y actualmente hay una potente industria dedicada a atender a este sector → 1. Se ha prestado mucha atención a los participantes más destacados, como Google, Apple y Facebook, que invierten cientos de millones de dólares en instalaciones construidas especialmente para ello, con mucha ingeniería incorporada. Pero por cada una de estas instalaciones líderes hay cientos, si no miles, de centros de datos de tamaño medio que se enfrentan a problemas difíciles, como la necesidad de reducir los costes de explotación, gestionar un inventario de equipos cada vez mayor y supervisar labores realizadas en múltiples emplazamientos.

Imagen del título
Muchos centros de datos utilizan la tecnología más avanzada para el almacenamiento de datos pero descuidan sus sistemas de gestión y supervisión. ¿Cómo resuelve esto la solución de ABB para la gestión de infraestructuras de centros de datos, Decathlon ABB?

La evolución del centro de datos

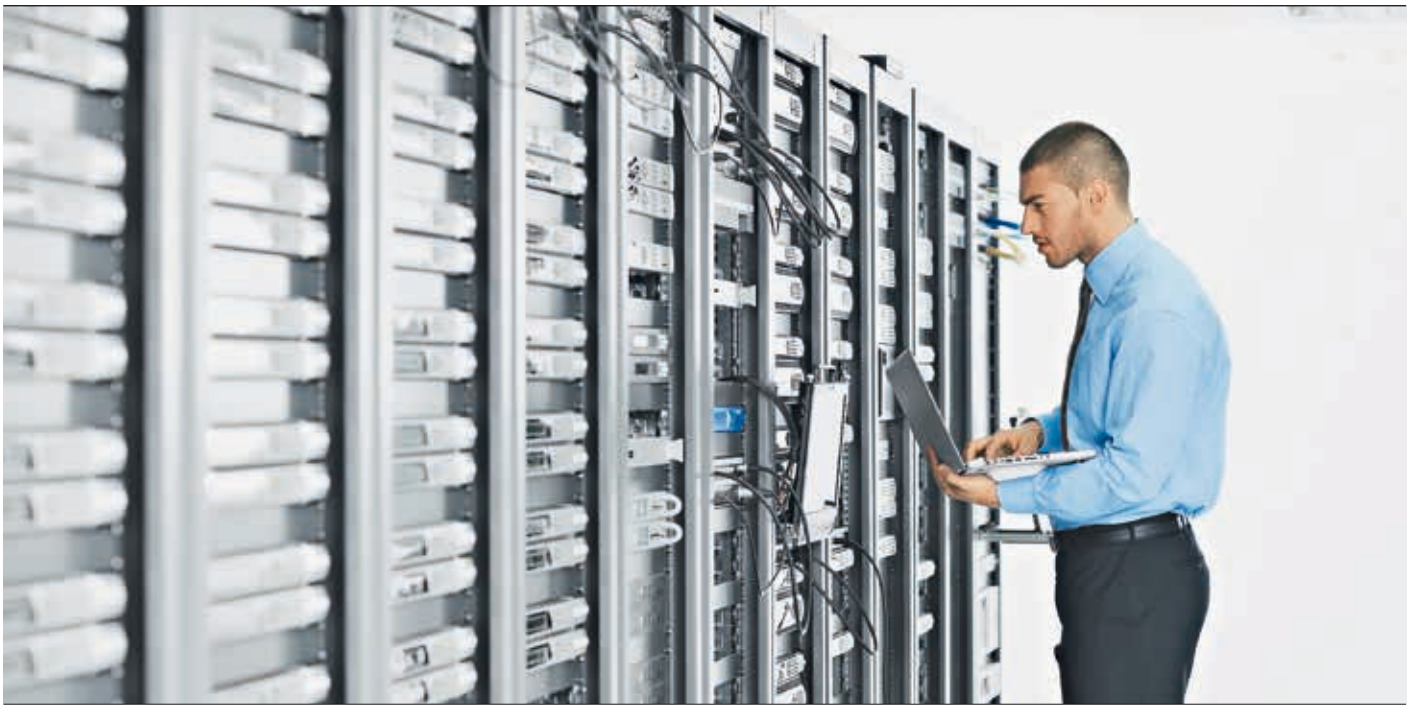
En los primeros tiempos de Internet, los centros de datos tenían una capacidad de control unificado escasa o nula. No había ninguna forma de saber cuánta energía se estaba utilizando en la instalación, y mucho menos en una determinada unidad de equipo. Asimismo se desconocían los índices de utilización de los servidores. De hecho, no existía una necesidad urgente de saberlo, la energía era barata y la capacidad no era un problema.

El impulso en las tecnologías de la información y el crecimiento de Internet han provocado un aumento exponencial del almacenamiento de datos y un incremento similar del consumo de energía: hace tan solo cinco años, los servidores típicos absorbían alrededor de 2,5 kW por rack, pero en la actualidad, los servidores consumen entre 8 kW y 30 kW por rack, lo que plantea un enorme problema de refrigeración.

En respuesta a ello, numerosos centros de datos han implantado esquemas de pasillo caliente/pasillo frío, por ejemplo. Así se gestiona la circulación del aire, evitando la mezcla del aire caliente y el aire frío. Sin embargo, una solución de este tipo es pasiva. Cuando se trata de una supervisión y un control activos, los sistemas instalados actualmente suelen ser inadecuados. Se dispone de soluciones puntuales, por ejemplo para manejar la virtualización de los servidores o supervisar el consumo de energía para toda una instalación pero, y esto es importante, estos sistemas no están integrados, lo que añade complejidad e introduce lagunas de información.

En otros aspectos, los centros de datos todavía van muy rezagados respecto a otros sectores. Por ejemplo, se entiende generalmente que una gestión de recursos supone la supervisión sistemática del estado de los equipos y sus prestaciones para dirigir mejor el mantenimiento y optimizar el presupuesto de manejo y mantenimiento de toda la flota de equipos. En el mundo de los centros de datos, la gestión

1 Pocos centros de datos vigilan y controlan el consumo de energía.



de recursos ha significado históricamente un simple seguimiento de la fecha de compra y la ubicación física del equipo.
ABB estima que solamente alrededor del 5 al 10 por ciento de los centros de datos tienen instalados sistemas de supervisión y control del funcionamiento de los servidores, el consumo de energía y el control medioambiental. Entre otro 20–40 por ciento dispone de alguna capacidad de supervisión y control, generalmente relacionada con el funcionamiento de los servidores, y el 40–65 por ciento restante tienen poca o ninguna capacidad. Esto se debe a que muchas de las instalaciones más antiguas se consideraban simplemente como otro espacio de oficina comercial, aunque con necesidades eléctricas poco usuales, y tenían que recurrir a los sistemas convencionales de gestión de edificios, ya instalados, para el control de temperatura y humedad.

Entre en escena la gestión de la infraestructura de centros de datos

Por lo tanto, es necesario disponer de un sistema unificado de supervisión y gestión de centros de datos. Debe haber una única interfaz de usuario que reduzca la complejidad de las interfaces de soluciones puntuales en rápido aumento. También debe gestionar las operaciones de los servidores y la refrigeración, los controles medioambientales y el consumo de energía. La buena noticia es que las industrias de transformación ya han abordado muchos de los mismos problemas, por lo que el sector de los centros de datos está en disposición de aprovecharse de esos sistemas críticos para la misión cuando construyan el suyo propio. Este campo de desarrollo tecnológico ha sido denominado: gestión de la infraestructura de centros de datos (DCIM por sus siglas en inglés).
Desde un punto de vista estratégico, un sistema DCIM trata de sintonizar el centro de datos con los objetivos comerciales y conseguir un valor mayor mediante:

- información sobre energía y prestaciones
- decisiones operativas que apoyen iniciativas empresariales
- entrega de nuevas aplicaciones y servicios de red de la manera más fiable y eficiente posible.

Características del DCIM

Varias características son esenciales en un DCIM. El tiempo en servicio es el parámetro más crítico para el sector de los centros de datos, ya que los sistemas DCIM deben ser muy fiables. Los sistemas DCIM deben ofrecer también capacidad de gestión de recursos que vaya mucho más allá de un simple seguimiento de los servidores: un mantenimiento basado en la condición y unas herramientas de diagnóstico (por ejemplo, para identificar servidores que entren en un bucle) aportarán una gestión de recursos similar a la aplicada a otras actividades con mucha dependencia de equipos. Como cada vez hay más operadores que explotan centros de datos, salas de ordenadores y armarios de servidores múltiples, una visibilidad que cubra múltiples emplazamientos se convierte en otra necesidad para un sistema de DCIM.
En última instancia, un sistema DCIM proporciona visibilidad, apoyo a la decisión y tecnologías de control para una mejor gestión de las operaciones de los centros de datos que abarcan toda la empresa, mediante una visión unificada que engloba los sistemas mecánicos, eléctricos y de TI. Los sistemas DCIM prometen suministrar información utilizable a los operadores de centros de datos para que puedan maximizar su capacidad, optimizar sus operaciones y reducir los costes y riesgos. Decathlon, la solución de DCIM de ABB, acepta este reto y ofrece una mejora importante sobre la situación existente:
los centros de datos desplazarán instantáneamente la “producción” desde una ubicación a otra para explotar las diferencias de los precios de la energía.

Gestión de instalaciones

Supervisión y control de los sistemas de la instalación, tales como aire acondicionado, ventilación y equipos mecánicos y eléctricos.

Gestión de mantenimiento
Pasa del mantenimiento basado en el tiempo al mantenimiento basado en la condición mediante el empleo de pronósticos y diagnósticos automatizados que identifiquen y resuelvan las dificultades antes de que se conviertan en problemas.

Gestión de la energía eléctrica
Supervisión y control de aparatos, redes eléctricas y contadores, incluyendo la generación de energía eléctrica desde subestaciones, microrredes y en el propio emplazamiento, con el fin de garantizar una distribución y un consumo que sean seguros y fiables.

Gestión de la energía
Combinación de los datos de consumo de energía en tiempo real con la información del contrato de suministro de energía, la determinación de precios en tiempo real y la respuesta a la demanda para optimizar los costes energéticos.

Predicción de recursos y planificación de la energía
Los servicios de terceros aportan valor añadido optimizando la cadena de valor energética y la posibilidad de participación en los mercados de la energía. Por ejemplo, un servicio de centros de datos llamado Global Energy Intelligence® by Power Assure es un servicio de suscripción incluido en Decathlon que suministra mediciones para los servidores, análisis y previsiones de TI, integración global del mercado energético, respuesta a la demanda, servicios auxiliares, tarificación y predicciones energéticas.

Planificación de recursos y capacidades
La serie DCIM de Nlyte Software ha sido incluida en Decathlon. Permite optimizar el espacio ocupado, la potencia y la capacidad de refrigeración gracias a la colocación inteligente de los recursos de TI. También efectúa la modelización de escenarios "¿qué pasaría si . . .?" y automatiza y gestiona los procesos de flujo de trabajo.

Solución de problemas
Análisis de causas y gestión de alarmas, lo que proporciona un detalle preciso de prestaciones para todas las operaciones del centro de datos.

Control y automatización
Que permiten la optimización de las prestaciones de la instalación y la TI a nivel del aparato y del sistema.

Supervisión a distancia
Supervisión en tiempo real de todos los recursos y las condiciones ambientales.

La justificación del DCIM

Es evidente la necesidad de visibilidad, apoyo a la decisión y tecnologías de control para una respuesta rápida en los centros de datos, y DCIM ofrece una solución al mosaico de soluciones puntuales del que muchas instalaciones dependen actualmente. DCIM aún es nuevo, pero han destacado algunos conceptos dominantes que es probable que guíen el desarrollo de estos sistemas:

Visibilidad y mejor control
La esencia de la actividad DCIM es establecer una base de referencia realista del consumo de energía del centro de datos mediante la supervisión integral en tiempo real, de modo que los operadores sepan cuándo, dónde y a qué velocidad se está consumiendo la energía. Con esa información se pueden adoptar medidas tácticas para optimizar los recursos y prever las necesidades energéticas.

Consolidación de recursos
Los sistemas DCIM hacen uso de una mayor visibilidad junto con una potente capacidad de análisis para consolidar los recursos y eliminar las pérdidas, maximizando de esa forma la capacidad existente. Esto lleva a ahorros en los equipos (por ejemplo, menos servidores), ahorros en los centros de datos (por ejemplo, en energía, refrigeración y espacio ocupado) y menor impacto ambiental.

Optimización de prestaciones
DCIM descubre el estado real de las operaciones del centro de datos con una mejor visibilidad y control para mejorar la disponibilidad; para maximizar la capacidad de energía, refrigeración y espacio; operaciones más racionalizadas; y reducción del riesgo en toda la empresa.

Automatización de la instalación y la TI
Los sistemas DCIM pueden ayudar con tareas tales como el desplazamiento de cargas y control de la temperatura y la humedad, así como el seguimiento de otros parámetros, como la vibración en las unidades HVAC, para anticiparse a los fallos.

¿Qué viene ahora?

Para la gran mayoría de las instalaciones que no disfrutan de las ventajas y el diseño de los sistemas de vanguardia, es recomendable un método de avance progresivo para mejorar las operaciones de los centros de datos.
Una evaluación sobre el terreno es siempre un buen primer paso, ya que revela dónde se pueden conseguir los beneficios más inmediatos (por ejemplo, en el ahorro de energía). Asimismo, se facilita la introducción eventual de un sistema DCIM si los operadores saben lo que quieren de él.
Las modernizaciones deben comenzar con iniciativas sencillas que tengan una amortización rápida (menos de un año). Podrían incluirse el aumento de la temperatura de la sala o la instalación de ventiladores de velocidad variable en el circuito de refrigeración.
Un ejemplo de hacia donde se encaminan los sistemas DCIM reside en la posibilidad de que los centros de datos trasladen la carga de trabajo de un sitio a otro para explotar las diferencias en los precios de la energía. Este desplazamiento rápido de la "producción" es algo con lo que los negocios "de la vieja economía" sólo pueden soñar. Ideas como éstas impulsarán un perfeccionamiento aún mayor de los sistemas DCIM y desempeñarán un papel fundamental en esos productos consiguiendo todo su potencial y convirtiéndose en parte integral de cada uno de los centros de datos del sector.

Marina Thiry
ABB Inc
Menlo Park, CA, Estados Unidos
marina.thiry@us.abb.com

Eric Olson
ABB Inc
Warminster, PA, Estados Unidos
eric.olson@us.abb.com

Bob Fesmire
ABB Inc
Cary, NC, Estados Unidos
bob.fesmire@us.abb.com

Referencias

[1] Datacenter Dynamics Inc (Julio 2012). Datacenter Dynamics Global Industry Census 2012 [Online]. Disponible en: http://www.datacenterdynamics.com/focus/archive/2012/07/datacenterdynamics-industry-census-data-center-industry-robust.

Virtualmente hablando

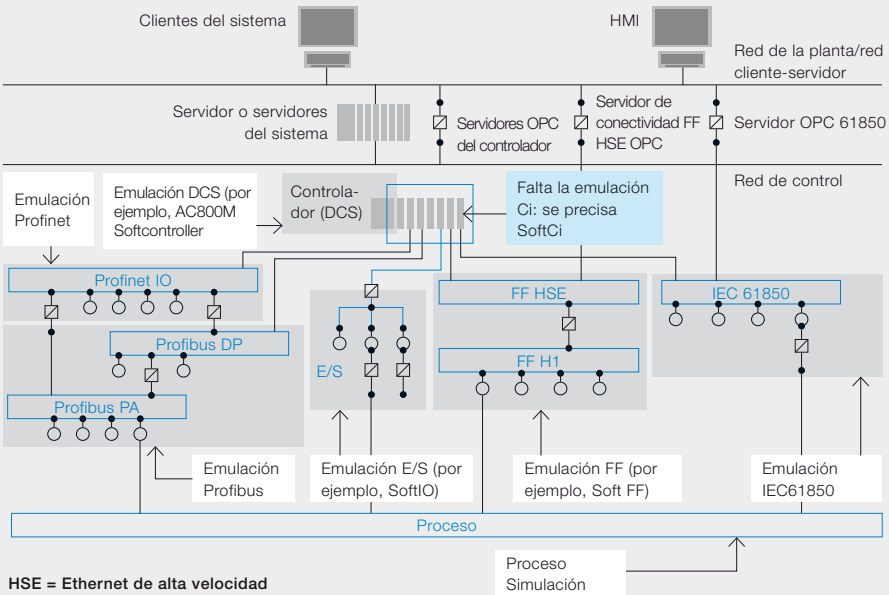
Emulación de interfaz DCS-a-subsistema empleando SoftCI

MARIO HOERNICKE, TRYGVE HARVEI – Una planta industrial moderna es algo de una complejidad desconcertante. Cientos, o incluso miles, de sensores, instrumentos de medición y diversos aparatos inteligentes envían y reciben datos en comunicación con controladores de automatización en un inmenso torrente de bytes coordinado con precisión. La construcción en la planta de una infraestructura de ensayo para un sistema tan complejo es totalmente imposible de realizar, por lo que se utilizan emuladores de software para imitar los subsistemas que lo componen. A lo largo de los años, estos emuladores han ido mejorando mucho. Sin embargo, en estos espacios de emulación ha faltado una forma satisfactoria de emular las interfaces entre los subsistemas y los sistemas de control distribuido a los que sirven. Una iniciativa de investigación promovida para resolver este problema se ha traducido en la SoftCI. SoftCI se ha pensado para sustituir interfaces de comunicación del controlador AC800M durante las pruebas de integración y de aceptación en fábrica.

Imagen del título
La emulación en software y hardware del espacio de control de una planta industrial compleja, como esta instalación de producción de gas natural licuado en Noruega, es una tarea difícil. Un nuevo emulador que imita hábilmente las interfaces del subsistema hace ahora mucho más fácil el trabajo.

Actualmente, hay que probar cada sistema por separado en su propio contexto sin tener en cuenta los aspectos del sistema o de las comunicaciones.

1 Emuladores de equipos para sistemas de control de procesos: la situación actual. SoftCI es necesario para la comunicación entre los componentes.



Obviamente, no se puede construir en el laboratorio una planta de proceso completa para probar nuevos sistemas de automatización. Por lo tanto, se emulan en hardware y software las funciones de la planta. Si bien actualmente se pueden imitar con éxito la mayor parte de las funciones de la planta, no ocurre lo mismo con las comunicaciones entre el emulador del sistema de control distribuido (DCS) y el del subsistema. Éste es un problema importante, debido a la creciente utilización de buses de campo y Ethernet en las factorías y a la importancia crítica de unas comunicaciones sin errores.

La iniciativa Next Generation Factory Acceptance Test (NGFAT) [Prueba de aceptación en fábrica de nueva generación] trata de resolver este problema [1]. En los objetivos de la iniciativa se incluye el desarrollo de una emulación genérica de interfaz de comunicación (CI) de controlador: SoftCI. Como resultado, se ha realizado un kit de desarrollo de software (SDK) que permite al usuario integrar una emulación de CI en los emuladores de subsistema existentes o ejecutarlo en modo autónomo.

SoftFF [2], un simulador de Foundation Fieldbus, se puede utilizar para verificar la integridad de la emulación.

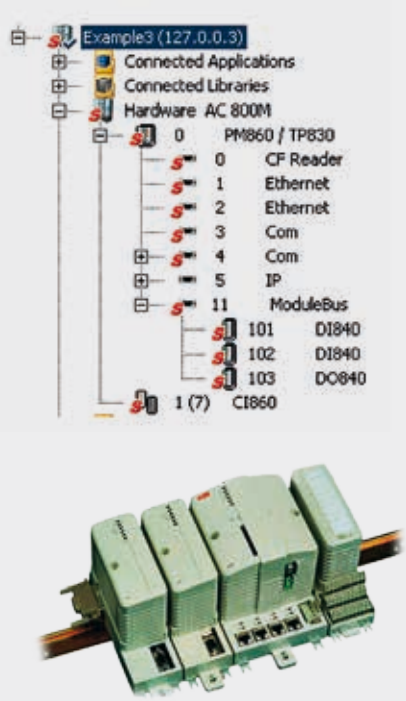
Puesto que las funciones de comunicación de las distintas interfaces de comunicaciones (CI) suelen ser similares, un concepto genérico de comunicaciones puede cubrir muchos tipos de CI.

Entorno SoftCI

Durante una FAT [prueba de aceptación en fábrica] se debe emular completamente todo el sistema a fin de probar la solidez del trabajo de ingeniería. Todo aquello que no se lleve a cabo en un PC estándar se ejecuta en un emulador. Distintos emuladores representan diferentes subsistemas y buses de campo → 1. Por ejemplo, hay disponible una emulación de controlador de DCS que se centra en la norma IEC61131-3 [3]. Actualmente, hay que probar cada sistema por separado en su propio contexto sin tener en cuenta los aspectos del sistema o de las comunicaciones.

Esta SoftCI se ha desarrollado contra este trasfondo. SoftCI se encarga de la comunicación vertical entre el DCS y las emulaciones del subsistema. Una planta

2 La topología del AC800M. Aquí, el uso de un acoplador FF.



3 Características del Fieldbus Foundation CI860 y el IEC61850 CI868, que muestra la correspondencia realizada dentro del CIS del Control Builder M (CBM).

Características

- Un CI para variables de entrada y salida
- Las señales FF se copian a variables 1131 (y viceversa)
- La correspondencia se configura en un único cuadro para cada CI

- Un CI para variables de entrada y salida
- Las señales IEC61850 se copian a variables 1131 (y viceversa)
- Para cada IED, se construye un cuadro diferente de correspondencia
- Los IED de campo son siempre entradas
- El AC800M es tratado como un IED
- El AC800M IED es siempre una salida

incluirá muchos subsistemas que llevarán a cabo muchas tareas diferentes, pero normalmente sólo un tipo de DCS. Para demostrar que el concepto de SoftCI funciona, se ha centrado la atención en el controlador AC800M de ABB.

La atención centrada en el AC800M

El controlador AC800M incluye módulos de entrada y salida (E/S), pero también bus de campo y acopladores de subsistemas, las CI. Un acoplador es un componente determinado que se utiliza para conectar el bus de campo físico en el nivel del aparato ➔ 2.

Por ejemplo, una CI860 transfiere datos entre el AC800M y un aparato de Foundation Fieldbus (FF). Está construido utilizando una tabla para hacer corresponder las variables de la aplicación de control de IEC61131 con las señales del FF. Mientras las variables IEC61131 están conectadas a la aplicación de control, el FF proporciona el equivalente dentro de la herramienta de ingeniería correspondiente, FieldBus Builder FF (FBB FF). Las señales del FF se añaden a los bloques de función FF utilizando el FBB FF. Conectando la señal a los bloques de función, la variable IEC61131 a la aplicación de control y haciendo corresponder la señal y la variable en la tabla de correspondencia, el técnico puede establecer un intercambio de valores entre AC800M y FF.

Otro ejemplo de una CI es la CI868 para redes IEC61850 [4]. Para IEC61850 la estructura por debajo de la CI tiene un aspecto diferente. La CI incluye otra tabla de correspondencia para cada aparato electrónico inteligente (IED) que se conecte al controlador. En esta tabla, las señales procedentes del subsistema pueden hacerse corresponder con las variables de control, como para el FF.

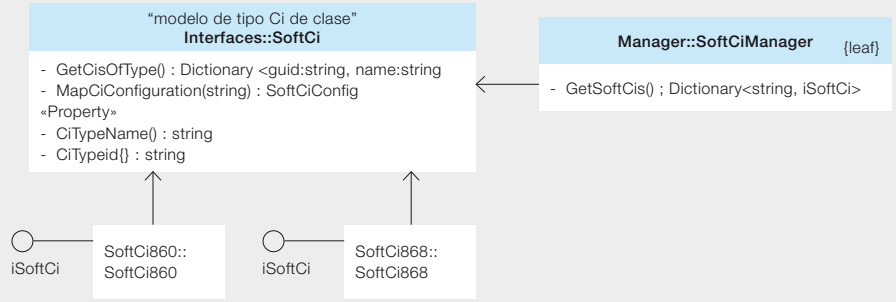
Excepto por la diferencia de que el FF utiliza una tabla única y la IEC61850 utiliza varias, el esquema de CI es similar ➔ 3.

Puesto que las funciones de comunicación de las distintas CI suelen ser similares, un concepto genérico de comunicaciones puede cubrir muchos tipos de ellas. Por ejemplo, la mayoría de las CI se utilizan sólo para intercambiar valores de las variables IEC61131 a las señales del subsistema y no proporcionan una funcionalidad adicional. Por lo tanto, una CI configurada puede modelizarse como una tabla de correspondencias.

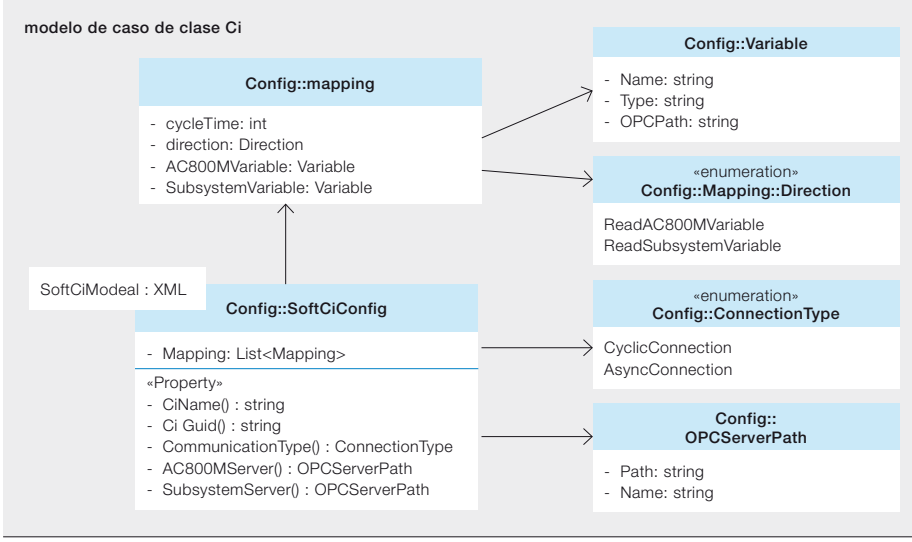
El modelo de la CI no es la única parte que tiene que crearse. Durante el tiempo de ejecución, un método de comunicación genérico tiene que intercambiar valores con el AC800M. Esto es necesario para cada tipo de CI, ya que éstas están siempre intercambiando datos con el AC800M.

La SoftCI se encarga de la comunicación vertical entre el DCS y las emulaciones del subsistema.

4 Modelo de CI para un tipo específico



5 Modelo CI de un caso específico



En el nivel de campo, por así decirlo, se requiere una comunicación con el emulador del subsistema. La emulación de subsistemas varía dependiendo del tipo del subsistema. La emulación puede ser propiedad de ABB, de código abierto o propiedad de un tercero y se puede caracterizar por ser abierta o bloqueada.

Los emuladores abiertos permiten incluir más funcionalidades: la SoftCI podría estar integrada en el emulador del subsistema e intercambiar directamente las variables del AC800M con las variables del emulador del subsistema. El modelo de CI se ejecuta dentro de la emulación del subsistema.

Los emuladores bloqueados no permiten ampliar las funcionalidades. Sin embargo, estas herramientas deben seguir siendo utilizables con la SoftCI y, por tanto, se debe evaluar un método distinto de comunicación estándar. Esto implica que la SoftCI debe poder ejecutar los modelos de CI en modo autónomo y que se podría desarrollar manualmente un modelo de CI y que, por lo tanto, debe almacenarse en una forma interpretable por el hombre.

Emulación CI genérica

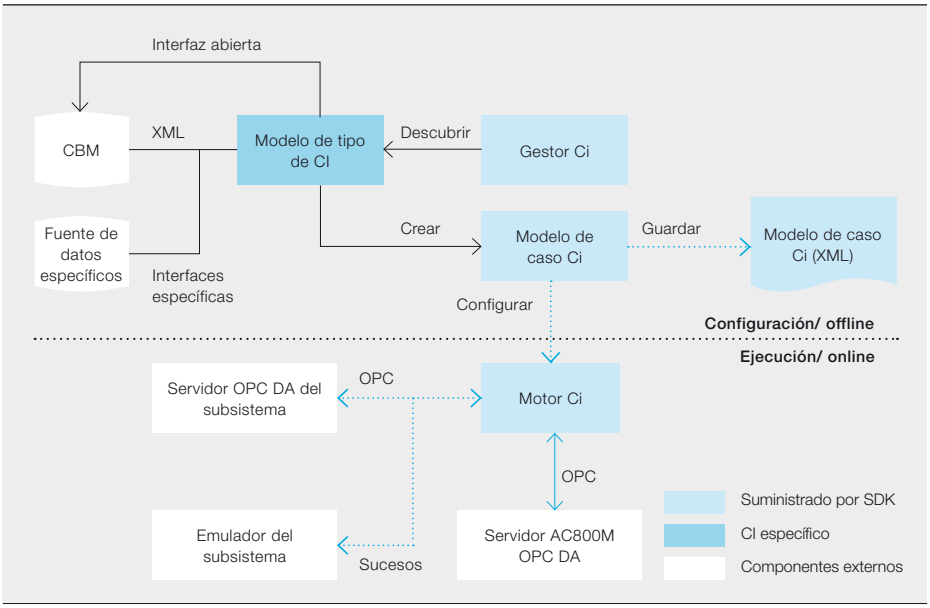
Por fin, se ha montado la escena para el desarrollo de una funcionalidad genérica que emule distintos tipos de CI.

Modelos de CI

Una parte importante de la funcionalidad es la creación de modelos de CI. Los modelos de CI se componen de una parte que describe el tipo de CI y otra que describe el caso de CI. El modelo para el tipo de CI se desarrolla una vez y es el mismo para cada caso, mientras que el modelo de caso se crea para cada caso por separado.

El metamodelo para un tipo de CI se entrega como una interfaz .NET que se puede incorporar en una clase → 4. Consiste fundamentalmente en las propiedades descriptivas, el nombre y la ID del tipo de CI, y un método para conseguir los casos del tipo descrito en el puesto de trabajo de ingeniería del 800xA. Si se deseara una creación automática de modelos de caso, se puede incorporar un método que cree el modelo. Si se hace así, SoftCI puede identificar los casos y

6 Módulos SDK SoftCI



Por ejemplo, una CI860 transfiere datos entre el AC800M y un aparato de Foundation Fieldbus (FF).

crear los modelos para esos casos sin necesidad de intervención del usuario.
El metamodelo para los casos se suministra como clases .NET, pero se puede guardar como XML ➔ 5. El metamodelo de caso no utiliza métodos, sino propiedades de los datos únicamente para describir el caso concreto. En general, es la representación de la tabla de correspondencia del CBM.
Además de la tabla de correspondencia del CBM, se describe el nombre y la ID del caso de CI. Con ellos, la SoftCI puede mostrar al usuario qué casos se emulan actualmente. Además, hay que describir el tipo de comunicación del caso de CI. El tipo de comunicación puede ser acíclico o por cíclico, según el método de comunicación del subsistema. Se admiten mezclas de ambos.

Comunicaciones de la CI

Como se ha indicado anteriormente, hay que encontrar un método para comunicarse con el AC800M Softcontroller, por lo que se deben modelizar los parámetros de comunicaciones para un caso.
El método de comunicación elegido es el OPC Data Access (DA). El OPC DA está respaldado por el AC800M Softcontroller y suele preconfigurarse para el hardware real y el sistema de producción. En consecuencia, no es precisa la reconfiguración para la emulación. Puesto que se pueden utilizar varios servidores OPC en el sistema de control del proceso, hay que describir en el modelo de caso la ruta y el nombre del servidor AC800M OPC para el caso de controlador concreto.

Módulos SoftCI

El SDK de la SoftCI incluye varios módulos de software ➔ 6. Además del modelo, se suministra un gestor de CI que puede usarse para identificar modelos de tipo de CI. Es posible que se utilicen varios tipos en un solo sistema de control de procesos para una planta. El gestor puede identificarlos y crear automáticamente modelos de caso para cada uno de ellos sin necesidad de intervención del usuario.
Los módulos entregados con el SDK se suministran como bibliotecas de clase que se pueden utilizar para crear rápidamente una emulación de CI dentro de los emuladores del subsistema. Además, se suministra una interfaz de usuario muy pequeña y simple que se puede utilizar para ejecutar una emulación de CI en modo autónomo.

En fase de pruebas

El concepto descrito ha sido probado con éxito en la implantación de la emulación de CI para FF. El concepto se ha probado también en conjunción con una emulación IEC 61850. Se ha desarrollado una SoftCI868 en forma de prototipo e intercambio de valores entre la emulación IEC 61850 y las funciones de controlador de software del AC800M.

Hacia la planta virtual

SoftCI es un SDK que ofrece funciones de emulación genéricas para interfaces de comunicación AC800M y, de esta forma, cierra una laguna en el panorama de emuladores. Aunque pudiera no ser utilizable para cualquier tipo de CI, sí pueden abordarse la mayoría de los tipos de CI. SoftCI860 ya ha sido implantada en SoftFF y está lista para su uso en las pruebas de integración y FAT (actualmente está en marcha un primer proyecto piloto).
SoftCI supone un paso evolutivo hacia una funcionalidad de puesta en servicio virtual completa para el Extended Automation System 800xA de ABB, es decir, otro paso importante hacia la perfección de la planta virtual.

Mario Hoernicke
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
mario.hoernicke@de.abb.com

Trygve Harvei
ABB Process Automation
Oslo, Noruega
trygve.harvei@no.abb.com

Referencias

[1] [M. Hoernicke, J. Greifeneder, *"Next Generation Factory Acceptance Test," Annual Report ABB Corporate Research Germany*, págs. 83–89, 2011.
[2] M. Hoernicke, P. Weemes, H. Hanking, *"El bus de campo fuera del campo: Soft FF reduce el trabajo de puesta en servicio mediante la simulación de Foundation Fieldbus"*, Revista ABB, 1/2012, págs. 47–52.
[3] IEC61131-3: *Programmable controllers – Part 3*. Edition 2.0, 2003.
[4] IEC61850: *Communication networks and systems in substations*, 2003.

CRIM

Identificación de la mejor estrategia de mantenimiento para plantas de procesamiento complejas

KARI SAARINEN, SHIVA SANDER TAVALLAEY, PATRIK M. WESTERLUND – Cambiar de una estrategia de mantenimiento reactivo a una de mantenimiento preventivo puede producir importantes ahorros de costes en muchos sectores industriales. Sin embargo, en las industrias de transformación, una instalación puede tener muchos miles de elementos que merezcan mantenimiento, lo que hace poco práctica o incluso imposible una estrategia de mantenimiento exclusivamente preventivo. ¿Cómo determinar la estrategia mixta óptima de mantenimiento para tales situaciones? El CRIticality-analysis-based Maintenance [Mantenimiento basado en análisis de criticidad] (CRIM) presenta una metodología de planificación sistemática del mantenimiento para identificar equipos críticos y planes adecuados de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y del proceso. El método utiliza una evaluación rápida de la criticidad de los equipos de la planta antes de un análisis del coste del ciclo de vida.

CRIM puede proporcionar una estrategia rentable de mantenimiento para toda la planta gracias a la utilización sistemática del análisis de criticidad, el análisis del coste del ciclo de vida y las estimaciones de la vida útil.

El término “optimización del mantenimiento” guarda relación con una amplia gama de métodos, desde los empíricos, basados en la simple experiencia, hasta los métodos sistemáticos complejos. Ejemplos de métodos sencillos incluyen el mantenimiento donde se tiene en funcionamiento el equipo hasta que se produce el fallo, adecuado para equipos redundantes y con una tasa de fallos muy baja; el mantenimiento basado en el tiempo (TBM), más eficaz cuando la revisión general o la sustitución del equipo es barata en comparación con el coste de un fallo y predomina un modo de fallo conocido y sencillo; y el mantenimiento basado en la condición (CBM), que es el que presenta mejor relación entre coste y eficacia para equipos críticos.

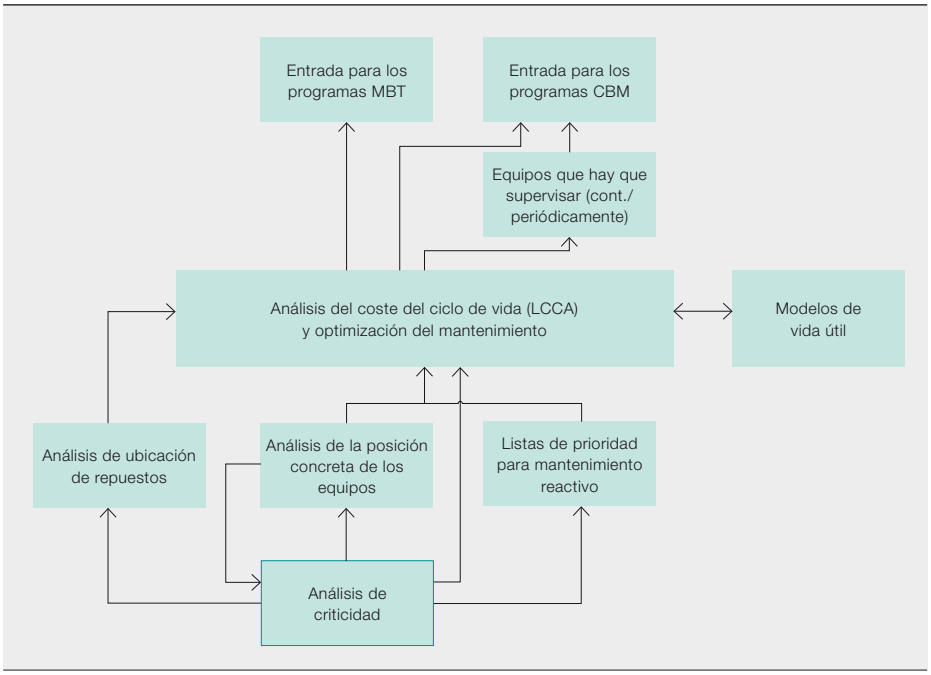
Los métodos más complejos incluyen el mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM), el método más minucioso para determinar el procedimiento de mantenimiento proactivo correcto que se debe usar para una alta fiabilidad del sistema; y el mantenimiento productivo total (TPM), que combina unas políticas de gestión de la calidad total y el mantenimiento proactivo a fin de conseguir el máximo rendimiento de la producción. El RCM es un método bastante oneroso y el TPM se centra en maximizar la producción de las máquinas, por lo que ninguno de ellos es apropiado en el contexto que aquí se contempla. Sin embargo, la metodología CRIM de ABB resulta apropiada ya que puede proporcionar una estrategia de

Los factores que influyen en la criticidad se determinan por consenso con los expertos de mantenimiento y del proceso.

Imagen del título
La decisión sobre las estrategias adecuadas de mantenimiento en una planta con muchos miles de dispositivos (como esta instalación de peletización de mena de hierro) puede ser difícil. CRIM ayuda a identificar planes de mantenimiento adecuados.

La evaluación de la criticidad incluye el análisis cuantitativo de los eventos y los fallos y el proceso de su ordenación según la gravedad de las consecuencias.

1 Diagrama de flujo del proceso CRIM



mantenimiento rentable para toda la planta al utilizar sistemáticamente el análisis de criticidad (CA), el análisis del coste del ciclo de vida (LCCA) y las estimaciones de la vida útil.

Análisis de criticidad

La criticidad es una medida relativa de las consecuencias de un fallo. De la misma forma, una evaluación de la criticidad incluye el análisis cuantitativo de eventos y fallos, y su ordenación según la gravedad de las consecuencias del fallo. En otras palabras, en este método sólo se evalúan las consecuencias de los fallos; las probabilidades de fallo se consideran posteriormente en el LCCA.

En la reunión del equipo de CA el coordinador plantea un conjunto de cuestiones cuidadosamente seleccionadas y escoge los niveles de criticidad para cada factor de criticidad.

CRIM

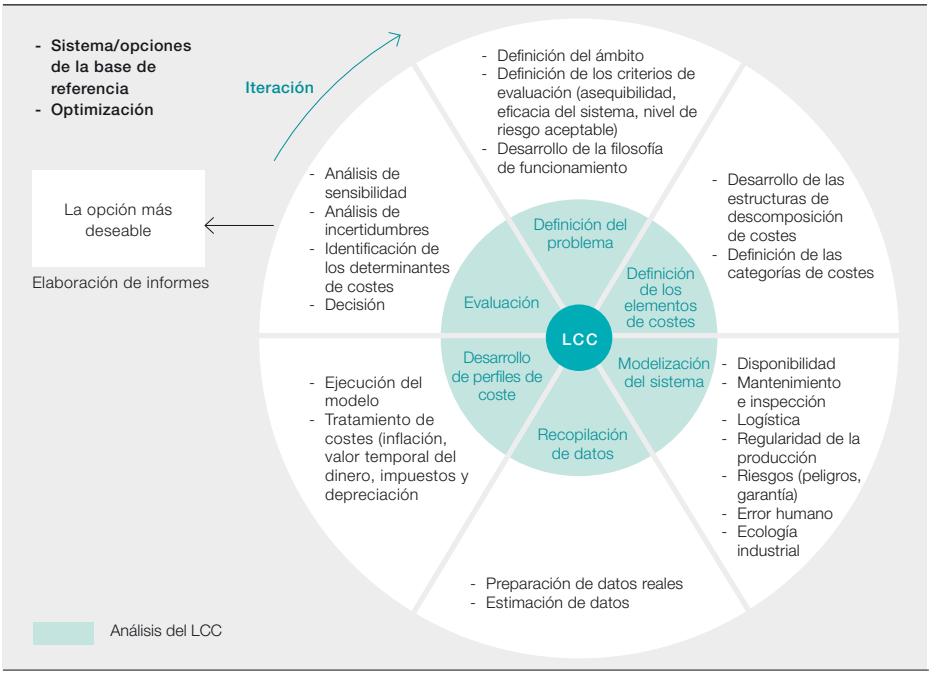
El proceso CRIM se inicia con un análisis de criticidad, un proceso fundamental en cualquier método de mantenimiento y fiabilidad → 1. El CA proporciona la base para determinar el valor de los equipos específicos y el impacto que tiene sobre la seguridad de las personas, el medio ambiente y el proceso de producción. El CA determina asimismo el nivel de atención que precisan los equipos en cuanto a la estrategia y las tácticas de mantenimiento.

El segundo paso del proceso CRIM es el LCCA, que se lleva a cabo para los objetos críticos a fin de demostrar las ventajas de usar determinados programas de mantenimiento para ese objeto → 1.

Con un proceso bien definido y las herramientas adecuadas, es posible evaluar de forma rentable miles de piezas de equipos.

Antes de iniciar el análisis de criticidad, el coordinador de ABB pide al cliente que cargue una lista de todas las posiciones de equipo que se vayan a analizar en la herramienta de CA. En la reunión del equipo de CA, el coordinador plantea un conjunto de cuestiones cuidadosamente seleccionadas para cada posición y, entre las respuestas, escoge los niveles de criticidad adecuadamente calibrados para cada uno de los factores de criticidad considerados. Estos factores habrán sido identificados previamente en las discusiones con los expertos de mantenimiento y del proceso. El nivel final de criticidad que

2 Un mapa del concepto de LCC [1]



La diferencia entre las pérdidas de producción debidas a fallos de los equipos y las debidas a una acción de mantenimiento preventivo es el elemento fundamental del análisis.

El LCCA es una actividad colectiva que comprende muchas clases de análisis encaminados a determinar los costes y la rentabilidad de un sistema o pieza de equipo a lo largo de su vida útil.

se genera automáticamente para cada recurso tiene en cuenta el tiempo de inmovilización, el tiempo de respuesta de la producción, la capacidad, la calidad, el medio ambiente, la seguridad y las pérdidas de energía producidas por los fallos de los equipos y los eventuales efectos secundarios. A partir de todo ello se prepara un informe de CA.

El análisis del coste del ciclo de vida

El LCCA es una actividad colectiva que incluye muchas clases de análisis destinados a determinar los costes y la rentabilidad de un sistema o pieza de equipo a lo largo de su vida útil, incluyendo I+D, construcción, explotación, mantenimiento y eliminación → 2. El LCCA comienza con el proceso de definición del problema como se muestra en la figura y continúa en el sentido de las agujas del reloj de manera iterativa hasta que se hayan satisfecho todos los criterios definidos en el primer proceso.

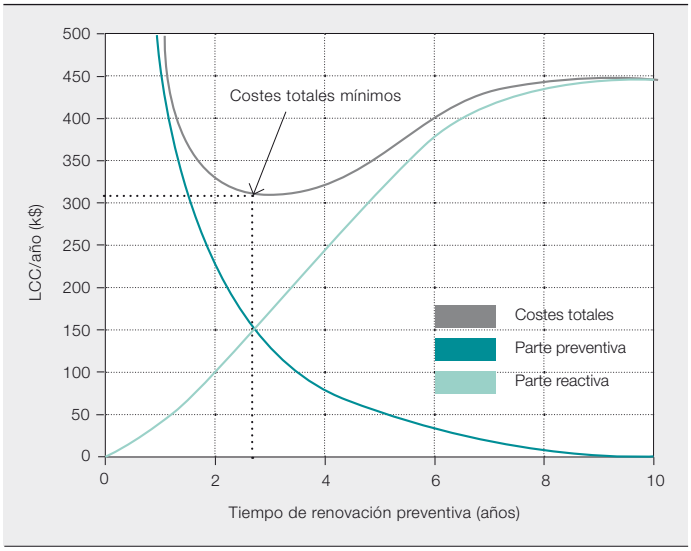
En el caso del CRIM, el problema consiste en determinar los costes medios de mantenimiento a largo plazo por unidad de tiempo que sean mínimos, calculados para estrategias de mantenimiento reactivo, basado en el tiempo y basado en la condición.

El concepto de LCCA aplicado aquí sólo considera aquellos costes que dependen de la estrategia de mantenimiento seleccionada para esa pieza de equipo. Por tanto, el único coste de capital considerado es el coste del equipo específico necesario para el CBM. En consecuencia, no hay ningún coste de capital relacionado con la estrategia de mantenimiento reactivo. El coste de explotación se divide entre el coste anual fijo y los costes debidos a las acciones de mantenimiento reactivo o preventivo. El coste anual fijo incluye sólo los costes debidos a la vigilancia de la condición.

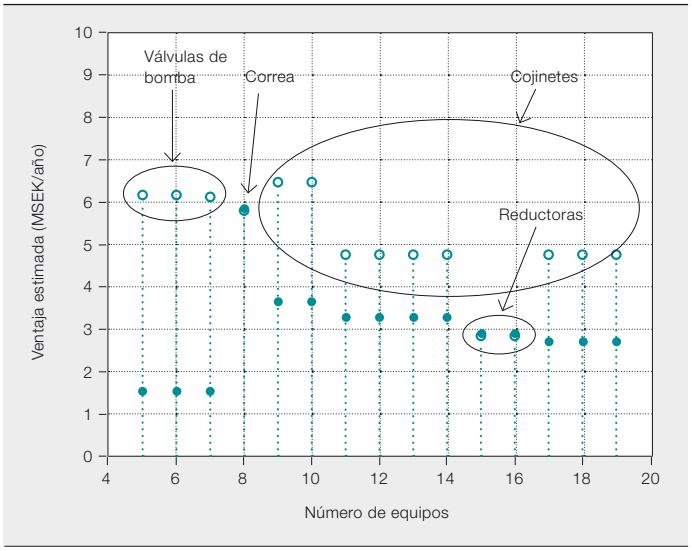
El elemento fundamental del análisis es la diferencia entre las pérdidas de producción debidas a fallos de los equipos y las debidas a una acción de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento proactivo o preventivo se inicia basándose en las predicciones de la necesidad de mantenimiento y su

3 LCC de un objeto de mantenimiento renovado después de tTB años o en caso de fallo.



4 Ventaja de utilizar MBT (círculos) o control de la condición (estrellas) calculada para equipos con criticidad 4 o 5 del proceso



En el caso del CRIM, el problema consiste en determinar los costes medios de mantenimiento a largo plazo por unidad de tiempo que sean mínimos, calculados para estrategias de mantenimiento reactivo, basado en el tiempo y basado en la condición.

definición no incluye la etapa del diagnóstico. Si el proceso está bien diseñado y preplanificado, el tiempo de inmovilización de la producción debe ser mucho más corto que en el proceso reactivo. Además, todos los materiales necesarios pueden pedirse antes de que se produzca el fallo, de forma que estén listos para ser utilizados cuando se precisen.

De esa forma, el coste medio del mantenimiento a lo largo de un período es una suma de distintos costes de mantenimiento, cada uno de ellos ponderado con la frecuencia del tipo de mantenimiento concreto. Las frecuencias y el número total de acciones de mantenimiento dependen de la estrategia de mantenimiento seleccionada. Estas frecuencias se estiman mediante modelos de la duración de vida que incorporan las condiciones operativas de los objetos de mantenimiento. Estas condiciones: temperatura, suciedad, carga, etc., se evalúan durante el análisis específico para la posición del equipo crítico descrito anteriormente.

El paso siguiente en el análisis es utilizar los modelos de duración de vida y de costes para elaborar el modelo del coste del ciclo de vida (LCC) para cada una de las estrategias de mantenimiento. En un ejemplo de TBM de la vida real, donde el componente se sustituye una vez que alcanza su edad de sustitución preventiva prevista o en el momento del fallo, lo que ocurra antes, el tiempo de sustitución óptimo ha resultado ser de 2,8 años, lo que se traduce en un LCC de 310.000 dólares al año → 3.

También se puede aplicar el LCCA para optimizar la localización de los repuestos calculando distintos LCC para una selección de esas localizaciones.

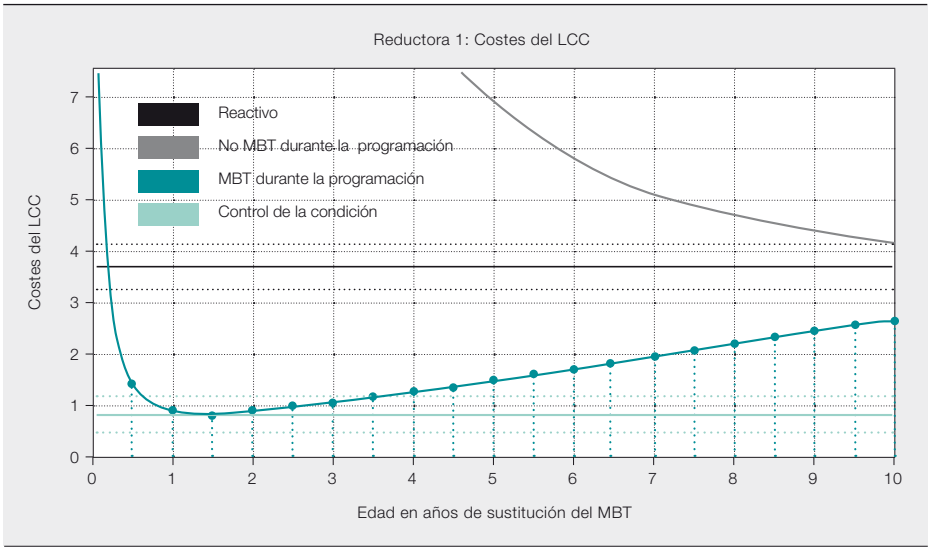
Se puede someter la repercusión sobre el resultado de los cambios en los parámetros de entrada a un análisis de sensibilidad e incertidumbre. La variación de los parámetros de entrada a lo largo de un determinado abanico puede demostrar la repercusión en el coste de los factores y las soluciones de compromiso más importantes.

Cifras del CRIM

Un CA de dos días en un emplazamiento piloto de un cliente seleccionó 698 piezas de equipos de dos líneas de proceso. La calibración y la presentación duraron aproximadamente medio día. La evaluación de las 100 primeras unidades tomó la otra mitad del primer día. Después, la velocidad de la evaluación varió entre 50 y 100 unidades por hora. El CA alimenta el LCCA y la herramienta relaciona los costes finales calculados por el LCCA para los componentes críticos identificados → 4.

Se pueden resumir todos los resultados del LCC calculados para un objeto, por ejemplo, una caja de engranajes → 5. Las líneas de trazos de la figura muestran las incertidumbres de las distintas estimaciones del LCCA. En este caso, hay un intervalo de tiempo óptimo para que la estrategia de TBM compita con las estrategias correspondientes de CBM. Por otro lado, se demuestra que un TBM que no se produce durante las pausas para mantenimiento programado no presenta ningún

5 LCC del ejemplo de “reductora 1” en función de la edad de sustitución. Se supone una incertidumbre del 10% (líneas de puntos) en los parámetros del modelo de vida útil.



6 La consecuencia de un valor menor de criticidad en el LCC a causa de un cambio en la ubicación de los repuestos

Nombre del grupo	Variación de la criticidad	Variación del LCC (k$/año)	Coste de las piezas de repuesto (k$)
Interruptores	5 → 2	350	31
Válvulas de bomba	5 → 3	512	15
Ventiladores de refrigeración	3 → 1	113	3
Sensores	3 → 1	77	3

mínimo y es más caro que el mantenimiento reactivo. Se suele efectuar un análisis de sensibilidad que calcule el efecto de una pequeña variación positiva o negativa del valor de cada parámetro sobre el resultado del LCC.

La lista de repuestos generada por la herramienta del CA se utiliza para una posterior optimización de las localizaciones de los repuestos mediante el LCCA.

Una comparación del LCC calculado para los objetos listados con dos supuestos diferentes sobre las ubicaciones de los repuestos, a saber, retrasos logísticos de más de un día frente a una hora, indica que, en algunos casos, el LCC puede disminuir drásticamente simplemente disponiendo el repuesto más cerca del equipo, o aumentando la disponibilidad de repuestos.

Además, cambiar la ubicación del repuesto puede afectar directamente al valor de la criticidad calculado en la herramienta de CA: en el ejemplo se ha observado una disminución desde el máximo valor de cinco al valor no crítico de dos → 6.

Las consecuencias de tal disminución del valor de criticidad puede verse en la variación del LCC → 6. El coste correspondiente de los repuestos empleados en el cálculo es sólo una fracción del coste del LCC.

La solución CRIM

CRIM contribuye en gran medida a la resolución del difícil problema de encontrar una mezcla óptima de estrategias de mantenimiento predictivo, preventivo y de funcionamiento hasta la presentación del fallo para los miles de unidades de equipo de su planta. En el emplazamiento piloto, eligiendo una estrategia adecuada de CBM y aplicando buenos métodos de vigilancia de la condición para las válvulas y cojinetes de bombas críticas, se identificaron ahorros en el LCC de 620.000 dólares al año.

Un importante resultado del estudio piloto es que el análisis CRIM sería adecuado durante la fase de diseño de la planta o como parte de la prueba de aceptación en fábrica. Además, es de vital importancia que el proceso incorpore competencia en todos los campos.

Quizá el respaldo más fuerte para el método CRIM haya sido el comentario del cliente, “¿Podemos permitirnos abstenernos de realizar un análisis CRIM de toda la fábrica?”

Kari Saarinen
Shiva Sander Tavallaey
ABB Corporate Research
Vasterås, Suecia
kari.saarinen@se.abb.com
shiva.sander-tavallaey@se.abb.com

Patrik M. Westerlund
ABB AB, Process Automation, Mining
Umeå, Suecia
patrik.m.westerlund@se.abb.com

Referencias

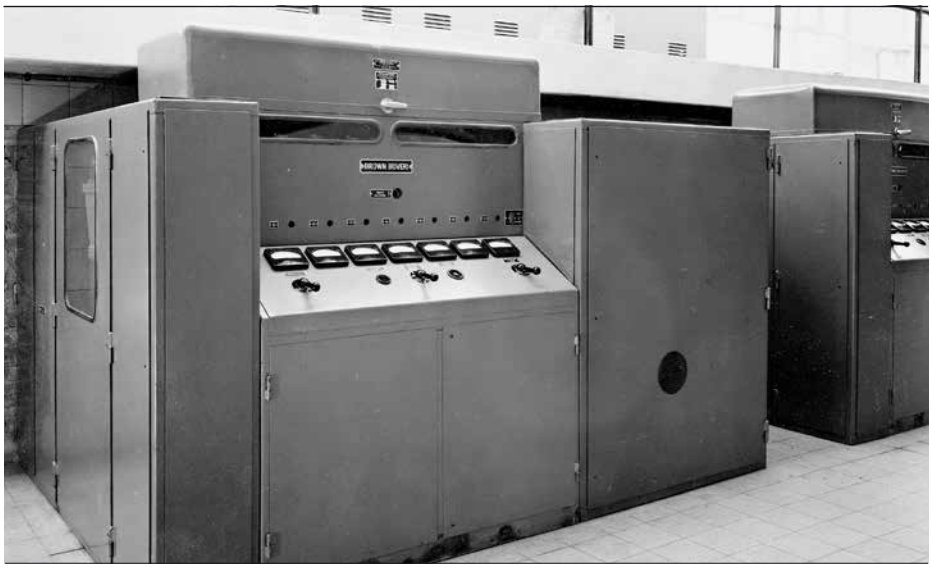
[1] Y. Kawauchi y M. Rausand. (1999). Life cycle cost analysis in oil and chemical process industries. Disponible en: http://www.ntnu.no/ross/reports/lcc.pdf

Del el arco de mercurio al interruptor híbrido

100 años de electrónica de potencia

ANDREAS MOGLESTUE – El año 2013 marca el centenario de la participación de ABB (y sus empresas predecesoras) en la electrónica de potencia. La electrónica de potencia se ha hecho omnipresente en una amplia variedad de aplicaciones que van desde las grandes instalaciones de HVDC (corriente continua de alta tensión), que transportan gigavatios a lo largo de miles de kilómetros, a los electrodomésticos de todos los días. El desarrollo de la electrónica de potencia fue impulsado por el deseo de convertir la electricidad de un nivel de frecuencia o tensión a otro, sin tener que recurrir a componentes mecánicos móviles (y por tanto necesitados de mucho mantenimiento).
En los primeros tiempos, los convertidores utilizaban rectificadores de arco de mercurio. Éstos fueron sustituidos por semiconductores a partir de los decenios de 1950 y 1960. Durante este periodo de 100 años, ABB ha sido pionera, tanto de la propia tecnología como de sus aplicaciones.

1 Estación de conversión de contactos de BBC del decenio de 1950, (potencia nominal 5.000 kW a 200 – 500 V)



Los primeros años del uso comercial de la electricidad se caracterizaron por la competencia entre distintas tecnologías de distribución. La CC de Edison rivalizó con la CA de Tesla en una batalla que por fin ganó esta última. Mientras que muchas aplicaciones son adecuadas para la CA, también hay otros usos para los cuales la CC sigue siendo indispensable, lo que exige alguna forma de convertir la CA en CC. Estas aplicaciones incluyen la electrólisis (como en la fabricación del aluminio), la carga de baterías, las comunicaciones inalámbricas y la electrificación de tranvías, metros y algunos ferrocarriles. Estas aplicaciones siguen siendo actualmente una parte importante de la actividad de ABB. La lista desde entonces se ha ampliado con la inclusión de aplicaciones más recientes, tales como centros de datos y transporte de HVDC.

Desde una fase inicial en el desarrollo de los sistemas eléctricos, los inventores buscaron convertir la CA en CC (rectificación) y la CC en CA (inversión), así como crear una salida variable a partir de una entrada fija (por ejemplo en accionamientos de velocidad variable). La mayoría de las aplicaciones actuales de la electrónica de potencia se pueden seguir colocando en alguna de estas tres categorías.

Una tecnología precursora de la conversión de CA a CC fue el motor-generador (un motor y un generador fijos a un eje común). El principio se podía invertir igualmente (para la conversión de CC a CA), o utilizarse, por supuesto, para la conversión de dos frecuencias diferentes de CA (varios países europeos electrificaron sus ferrocarriles a $16^{2}/_{3}$ Hz porque esta cifra es precisamente un tercio de 50 Hz). La configuración de motor-generador podía incluso ampliarse para aplicaciones de salida variable: por ejemplo el control Ward-Leonard utiliza la excitación del generador de CC para variar su tensión de salida (lo que permite, por ejemplo, un accionamiento de velocidad variable). La máquina de Scherbius permite la conexión de redes de CA no completamente sincronizadas por permitir cierto deslizamiento de fase.

Una propiedad valiosa del motor-generador es su resistencia para seguir funcionando. Unos cortes breves de energía se soslayan gracias a la energía cinética de la masa giratoria. Es interesante observar que esta funcionalidad como acumulador de energía tiene su correspondencia en los condensadores de los enlaces de CC en la electrónica de potencia actual.

Entre los inconvenientes de los convertidores mecánicos se incluyen el mantenimiento de partes móviles, como la lubricación y la sustitución de escobillas de carbón y las importantes fuerzas mecánicas que afectan a la construcción y el anclaje.

Conmutación

Mientras que el motor-generador se caracterizaba por una completa separación galvánica de la entrada y la salida, la electrónica de potencia consigue la conversión cambiando el recorrido de la corriente en momentos discretos por medio de acciones de conmutación provocadas desde el exterior. En su forma más simple, el principio de la conmutación del recorrido se puede ver en el motor de CC, donde un conmutador invierte el sentido de la corriente en el devanado del rotor en función de su posición (una simple conversión de CC en CA). Otro método de uso más general para la conversión de la CA es el convertidor de contactos → 1.

Los convertidores que dependían de conmutadores mecánicos siguieron siendo una responsabilidad de mantenimiento. La electrónica de potencia se propuso lograr resultados similares pero sin piezas móviles.

Imagen del título
Un diodo para aplicaciones de tracción (hacia 1980)

2 Intervalos de potencia de distintos tipos intercambiables de mutadores de BBC (y convertidores de contactos)

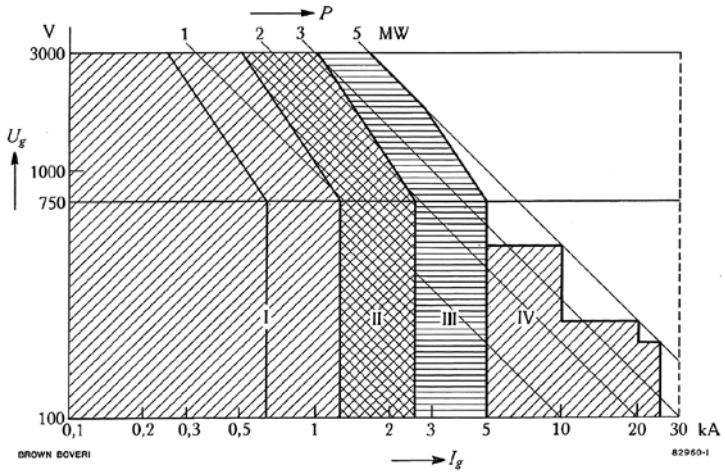
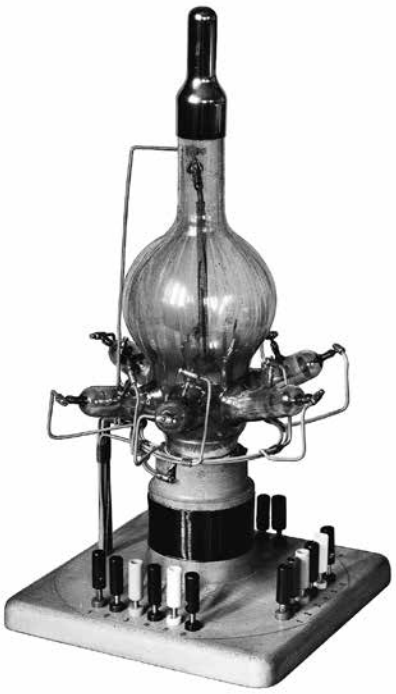


Fig. 10 — Graphical representation of load capacity of new Brown Boveri mutator range

U_g = D. C. voltage
I_g = Direct current
P = Output
I = Air-cooled, pumpless multi-anode mutators
II = Air-cooled, pumped multi-anode mutators
III = Water-cooled single-anode mutators
IV = Contact converters

Fuente: T. Wasserrab, Mutator Meeting at Baden in 1955 (Congreso sobre mutadores en Baden en 1955), Introductory Lecture (Conferencia de presentación) (actas publicadas por BBC)

3 Una primitiva válvula de arco de mercurio encerrada en una ampolla de vidrio



Este convertidor incorpora contactos mecánicos que se mueven rápidamente (de hecho, un puente H, pero con conmutadores mecánicos en vez de válvulas). Un notable punto débil era que, a diferencia del motor-generador, la forma de onda de la salida de CA no era una onda sinusoidal sino cuadrada. Este inconveniente lo compartían muchos circuitos de electrónica de potencia. Como se tratará más adelante en este artículo, la superación de este problema era uno de los puntos principales de progreso en el ámbito de la electrónica de potencia moderna.

Como los motores-generadores, los convertidores que dependían de conmutadores mecánicos seguían siendo una responsabilidad de mantenimiento. La electrónica de potencia se propuso lograr resultados similares pero sin conmutadores mecánicos.

A pesar de sus evidentes inconvenientes, los convertidores de contactos pudieron cubrir las intensidades demandadas más allá de lo que podían las válvulas de arco de mercurio → 2, y su producción continuó hasta la aparición de los convertidores basados en silicio.

Las válvulas de arco de mercurio

En los primeros años del siglo XIX, el químico e inventor británico Humphry Davy demostró que se podía establecer un arco eléctrico haciendo pasar corriente a través de dos varillas en contacto y separándolas después. Se forma un plasma (gas de partículas ionizadas) en la separación entre los electrodos y se conduce la corriente. La recombinación de partículas ionizadas en el plasma provoca la emisión de luz, mientras que el calor producido por la corriente crea iones nuevos (excitación) y mantiene el arco. Es interesante observar que la física que se encuentra tras los conmutadores de semiconductores actuales tiene igualmente relación con la excitación, el movimiento y la recombinación de portadores de carga.

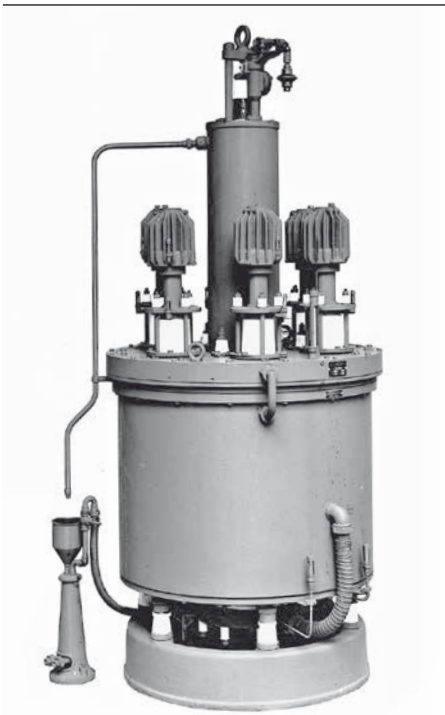
En 1902, el inventor americano Peter Cooper Hewitt presentó una configuración con un electrodo hecho de mercurio y el otro de acero (carbono en versiones posteriores) encerrados en una ampolla de cristal que contenía vapor de mercurio. Una propiedad interesante era que la corriente se transmitía desde el electrodo de carbono al de mercurio pero no a la inversa. Mientras que el baño de mercurio emitía fácilmente electrones una vez que se encendía el arco, el ánodo de carbono no lo hacía en cantidad apreciable (dentro del intervalo de las temperaturas de funcionamiento). El vapor de mercurio era ionizado por el arco, y el bombardeo de iones de mercurio sobre el cátodo de mercurio generaba suficiente calor para mantener su emisión continua de electrones. Había nacido la válvula de arco de mercurio, y con ella, la electrónica de potencia.

En los años siguientes, numerosos inventores y empresas buscaron mejorar y comercializar este principio de la rectificación.

Fabricación de rectificadores de arco de mercurio

En 1908, el ingeniero húngaro Bela B. Schafer empezó a investigar sobre las válvulas de arco de mercurio para la compañía H&B (Hartmann y Braun) establecida en Frankfurt. En 1909 registró la primera de muchas patentes (su primera patente era una solución al problema de incluir cables metálicos para atravesar la pared del cristal sin mermar su estanqueidad). H&B fue la primera empresa alemana en suministrar un rectificador (entregado a una fundición de Frankfurt en 1911). Como la principal actividad de H&B estaba en la fabricación de instrumentos científicos y la empresa tenía poca experiencia en aplicaciones industriales de altas intensidades de corriente, en 1913 se creó una empresa conjunta con BBC (Brown, Boveri y Cia) establecida en Suiza. La nueva empresa se llamaba GELAG (Gleichr ichter AG) y se estableció en Glarus, Suiza. GELAG se dedicó principalmente a la investigación y el desarrollo, con BBC fabricando las válvulas en Baden, Suiza. En 1916, BBC también

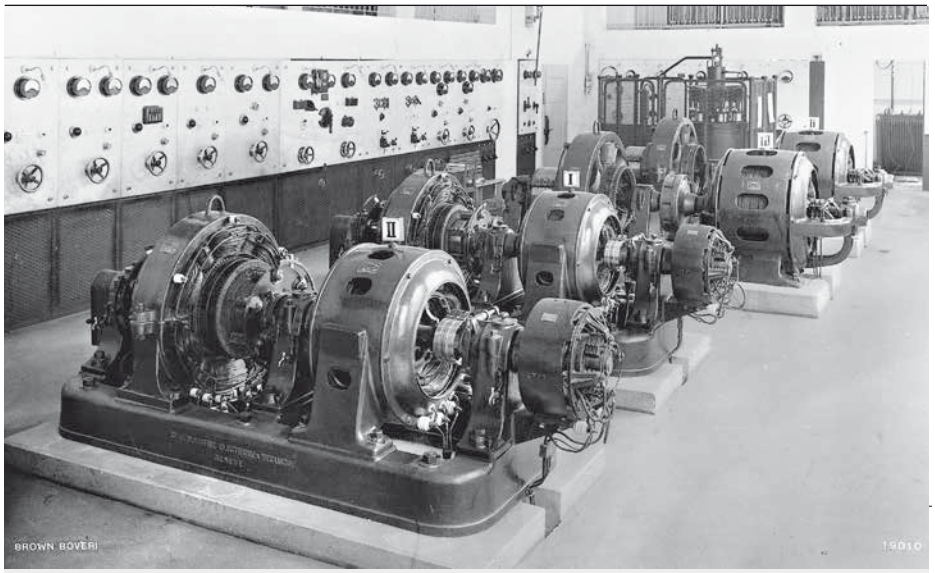
4 Válvulas de arco de mercurio en depósito de acero de BBC



4a **Válvula de tipo HG 5/6 (1923) (420 A, 650 kW, 1.550 V y 1.700 kg de peso) utilizada para la electrificación de Zweilütschinen** ➔ 5.

4b **Una gran válvula de arco de mercurio en depósito de acero. Este ejemplo de 2.500 A, 2.000 kW de los años 1950, pesaba 1.235 kg y tenía una altura de más de 3 m.**

5 Electrificación del ferrocarril de Bernese Oberland [2]



El ferrocarril de **Bernese Oberland**, en la región del Jungfrau de los Alpes suizos fue electrificado por BBC empleando 1.550 V de CC en 1913. La rectificación se llevó a cabo mediante motores-generadores, apoyando la alimentación de CC con una batería. A fin de demostrar su tecnología de rectificadores de arco de mercurio, BBC añadió una instalación de ese tipo en 1920, con el rectificador trabajando en paralelo con los conjuntos motor-generador. La demostración impresionó al ferrocarril con sus altos rendimiento y su fiabilidad, y permaneció en servicio durante 2 años y 3 meses. Fue sustituida por una instalación permanente en 1923.

La fotografía muestra la estación convertidora en 1924, con dos grupos principales motor-generador de 220 kW en primer plano y los dos generadores auxiliares de 48 kW con excitación controlable detrás de ellos y al fondo el rectificador único de arco de mercurio de 650 kW, que muestra sus muy reducidas necesidades de espacio.

[2] La planta de rectificadores de arco de mercurio de la subestación Zweilutschinen del ferrocarril Bernese Oberland Railway. REVISTA BROWN BOVERI, OCTUBRE, 1925, PÁGINA 214.

La semiconductividad fue descubierta por primera vez en el sulfuro de plata por Michael Faraday en 1833, pero el fenómeno no se comprendió totalmente hasta los primeros 1930.

comenzó la producción en Mannheim, Alemania. La producción alemana se trasladó a una fábrica más grande en Lampertheim, Alemania, en 1921, y fue acompañada con un segundo emplazamiento ese mismo año cuando BBC adquirió la Gleichrichter GmbH (fundada en 1919) con base en Berlín.

BBC se hizo cargo de la participación de H&B en GELAG en los 1920, y finalmente disolvió esta última en 1939, absorbiendo sus actividades en la sociedad matriz. Posteriormente, H&B se convirtió asimismo en parte de la herencia de ABB: la compañía fue adquirida por Elsag Bailey en 1995, que a su vez pasó a formar parte de ABB en 1999.

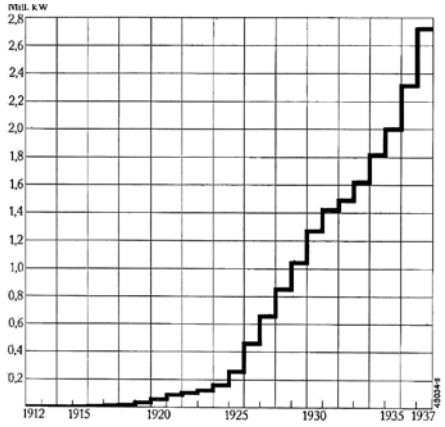
Schäfer dejó GELAG en 1921 y fundó su propia consultoría. En 1927 vendió los diseños de la válvula a ASEA (Allmanna Svenska Elektriska Aktiebolaget) para su producción en Ludvika, Suecia. La experiencia de Schafer se vertió por lo tanto en los productos de tres de las empresas predecesoras de ABB.

El diseño y las aplicaciones de la válvula

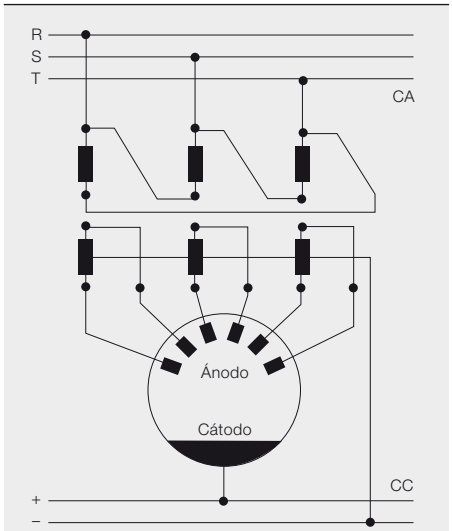
Dada la baja conductividad térmica del vidrio, la potencia de una válvula está limitada por el área de su superficie ➔ 3. Al ir aumentando las potencias necesarias, se adoptaron en su lugar depósitos de acero (con electrodos aislados) ➔ 4. El mercado de válvulas de arco de mercurio prosperó y con él la producción de BBC ➔ 5–6. La empresa asumió una posición destacada en el desarrollo de la tecnología.

Un circuito de rectificador simple se muestra en ➔ 7. Es equivalente a un puente H en el que un solo recinto con seis ánodos cumple la función de seis diodos discretos.

6 La fabricación de mutadores fue un negocio en rápido crecimiento de BBC.



7 Mutador para rectificación de media onda



Si bien el funcionamiento de una válvula de este tipo podría mantenerse si la temperatura de funcionamiento se mantuviera dentro de los valores límites y no se dejara que el arco se extinguiera del todo, no podía ponerse en marcha sin ayuda cuando no había plasma presente. Por ello, se dispuso un electrodo de cebado (al que se aplicaba un impulso de alta tensión) para crear el arco inicial. La capacidad de activar la conducción oportunamente en un punto arbitrario tenía un potencial obvio para una conmutación selectiva (las válvulas descritas en este artículo hasta ahora eran todas diodos). El desarrollo de dichas válvulas conmutables comenzó en 1930, permitiendo controles gobernados por fases (estas válvulas cumplían la misma función que desarrollan actualmente los tiristores: pueden conmutarse arbitrariamente pero deben esperar hasta que la corriente llegue a cero para apagarse). Conectándolas en un puente H, se puede construir un inversor conmutado en línea. Como el término “rectificador” se fue haciendo cada vez más incorrecto en vista de estas nuevas aplicaciones, en 1934 BBC comenzó a referirse a sus válvulas de forma colectiva como “mutadores”.

Al ser posible ahora ambas funciones de rectificador y convertidor, BBC construyó una línea de demostración temporal para la exposición suiza Swiss National Exhibition and Trade Show de 1939. El enlace de CC de 500 kW y 50 kV tenía una estación convertidora en ambos extremos y transportaba electricidad a 25 km desde Wettingen al pabellón de la compañía en la exposición de Zúrich empleando un cable de un solo polo → 8 (el retorno se hacía por tierra). Este enlace fue un precursor de la tecnología actual HVDC.

Fue ASEA, no obstante, la que construyó el primer enlace permanente y comercial de HVDC en el mundo, conectando la isla sueca de Gotland con el territorio continental en 1954.

La fabricación de rectificadores de arco de mercurio prosiguió hasta mediados de los 1960 → 9. Las válvulas de mercurio fueron sustituidas finalmente por otra revolución de la electrónica de potencia: los semiconductores. Las ventajas de los semiconductores eran una mayor densidad de potencia y velocidad, peso y pérdidas menores y evitar los aspectos tóxicos del manejo del mercurio.

Semiconductores

Los elementos de la tabla periódica suelen dividirse en metales y no metales. En su forma pura, los metales conducen electricidad, mientras que los no metales (en su mayoría) no lo hacen. Pero hay un grupo interesante de no metales que muestran niveles intermedios de conductividad. Estos son los materiales semiconductores, principalmente germanio y silicio. Algunos cristales híbridos tales como el arseniuro de galio y el carburo de silicio también tienen propiedades semiconductoras.

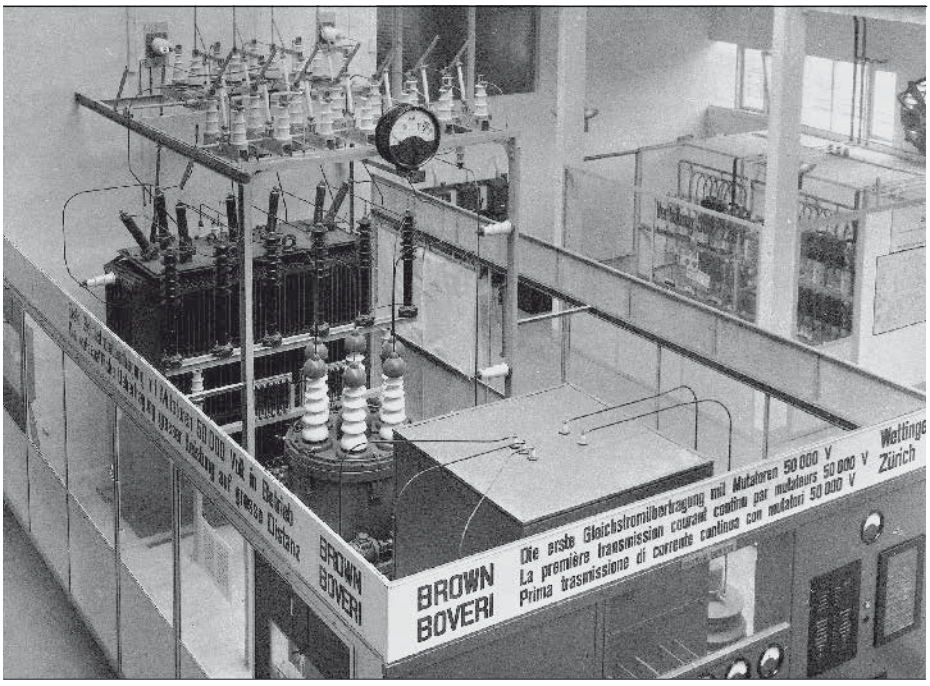
La semiconductividad fue descubierta en el sulfuro de plata por Michael Faraday en 1833, pero el fenómeno no fue comprendido totalmente hasta los primeros años 1930 cuando surgió la teoría de la banda de conducción.

Para elevar la conductividad de los materiales semiconductores, se introducen selectivamente impurezas en el cristal. Estos átomos ocupan posiciones en el entramado del cristal que de otro modo ocuparía un átomo del material del sustrato. Si los átomos insertados tienen más electrones en sus bandas exteriores que el material receptor (tipo n-), los electrones “sobrantes” se pueden mover libremente por el cristal y de esa forma aumentar su conductividad. Si los átomos insertados tienen menos electrones en sus bandas exteriores (tipo p-), se crean los llamados agujeros. Los electrones de átomos próximos pueden ocupar estas posiciones, lo que en efecto lleva a que los propios agujeros tengan movilidad. De esta forma, los agujeros se comportan como portadores de carga positiva y también aumentan la conductividad.

Un ejemplo simple de dispositivo semiconductor es un diodo. Una zona p- se encuentra junto a una zona n- en el mismo cristal. La corriente puede fluir de la zona p- a la zona n- (es decir, en la zona p-, los agujeros fluyen hacia la unión p-n , en la zona n- los electrones fluyen hacia la unión, con los dos tipos de portadores recombinándose en la unión). Si se aplica una tensión inversa, los portadores de carga se agotan desde la unión y la conducción cesa.

Para crear válvulas conmutables, se requería un método que activara la conductividad desde el exterior. El primer transistor fue creado por los laboratorios Bell en 1947. Utilizaba un campo eléctrico para controlar la disponibilidad de portadores de carga en un cristal de germanio, lo que significa que la corriente a su través estaba determinada por una tensión de control.

8 En la Exposición Nacional Suiza de 1939 en Zúrich, BBC demostró el transporte de CC empleando convertidores de arco de mercurio.



La invención del transistor inició un desarrollo rápido y muy visible que culminó en la notable revolución de las comunicaciones y el proceso de datos, cuyos resultados (y desarrollos actuales) están ahora a la vista. Quizá menos obvia, pero igualmente espectacular, es otra revolución de los semiconductores que se produjo en paralelo en el ámbito de la electrónica de potencia: en la actualidad, la electricidad se puede transformar, controlar y convertir en formas que hace sólo algunas décadas no habrían sido consideradas posibles. Por ejemplo, los dispositivos de datos y comunicaciones actualmente omnipresentes y sus chips microprocesadores altamente integrados serían de poco uso sin circuitos de electrónica de potencia que les suministraran energía, cargando sus baterías y manteniendo en funcionamiento los centros de datos y los enlaces de comunicaciones sin los que las redes sociales y otros servicios “online” no podrían funcionar. De forma similar, el impulso actual sobre las energías renovables y la disminución consiguiente de las emisiones no sería posible sin los convertidores de electrónica de potencia que garantizan una conectividad de redes fiable y asequible.

Ha llevado muchas décadas de desarrollo hacer esto posible. Tanto BBC como ASEA iniciaron el desarrollo de los semiconductores en torno a 1954, con los primeros diodos rectificadores de BBC (de 100 V, 100 A) que aparecieron en el mercado en 1956. Estos y otros semiconductores primeros estaban hechos de germanio[1], pero se vio que el material resultaba inadecuado para las aplicaciones de potencia a causa de las limitaciones en cuanto a tensiones y temperaturas de bloqueo. Pronto fue sustituido por el silicio.

Tiristor

Las aplicaciones de los transistores en los amplificadores analógicos (como en las radios y las telecomunicaciones) son bien conocidas. Sin embargo, lo que se pide a la electrónica de potencia es diferente: Los interruptores deben estar idealmente activados o desactivados, con un período de transición tan breve como sea posible. Esto se debe a que las pérdidas en el dispositivo y, en consecuencia, el calor generado, son el producto de la intensidad por la tensión y, por tanto, o una u otra deben mantenerse tan próximas a cero como sea posible, con vistas, tanto al interés del rendimiento energético como a evitar daños térmicos en el dispositivo.

Un inicial semiconductor de potencia conmutable fue el tiristor, cuyo principio fue propuesto por William Shockley en 1950. Un tiristor es similar al diodo p-n descrito anteriormente, pero con capas adicionales insertadas entre las zonas p- y n- exteriores. Estas capas impiden nor-

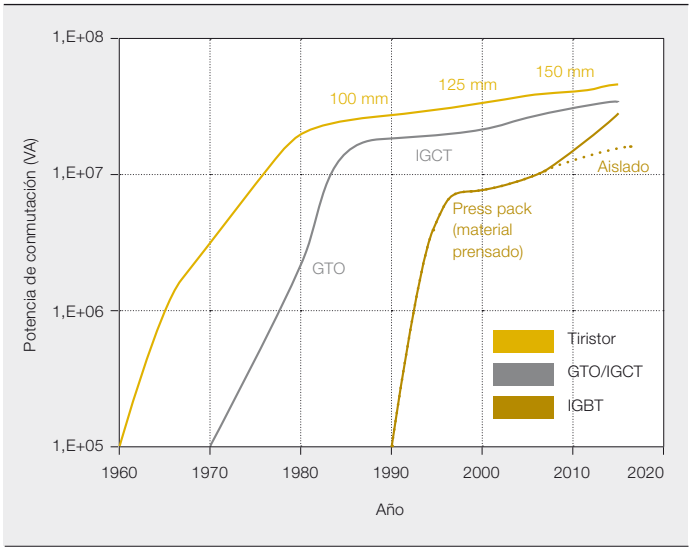
Nota a pie de página

1 Algunos fabricantes utilizaron selenio.

9 Hitos de los 100 años de ABB en la electrónica de potencia

1913	BBC comienza la producción de rectificadores de arco de mercurio en Baden
1915	BBC suministra rectificadores estacionarios a Limmattal Strassenbahn (tranvía del área de Zúrich)
1921	Comienza la producción en Lampertheim (BBC)
1924	Se publica la teoría de la conmutación de Dallenbach y Gerecke (BBC)
1928	ASEA comienza la producción de rectificadores de arco de mercurio en Ludvika
1938	BBC (Mannheim) equipa locomotoras con rectificadores (electrificación experimental a 50 Hz en Alemania)
1939	BBC demuestra el transporte experimental de CC en Wettingen--Zúrich ➔ 8
1954	Primer diodo de germanio de BBC
1954	Primer HVDC comercial, enlace de Gotland (ASEA)
1960	Primer tiristor de BBC.
1961	Conexión de HVDC entre Gran Bretaña y Francia bajo el Canal de la Mancha (ASEA)
1964	Primera locomotora de BBC con rectificador de diodos de silicio (Re 4/4 de BLS)
1967	Primera locomotora con rectificador de tiristores de ASEA (Rc para los Ferrocarriles Suecos)
1970	Pacific Intertie, enlace de HVDC entre Celilo (Oregón) y Sylmar (Sur de California): el último proyecto importante en emplear válvulas de arco de mercurio.
1971	Empieza la fabricación de semiconductores en Lampertheim (BBC)
1973	BBC abre el centro de investigación de Dättwil (Suiza)
1979	Enlace de HVDC Cabora Bassa - Johannesburgo (BBC en colaboración con AEG y Siemens)
1981	Empieza la fabricación de semiconductores en Lenzburg (BBC)
1984	Enlace de HVDC Itaipu – Sao Paulo (ASEA)
1987	Las primeras locomotoras de BBC en emplear convertidores GTO (para BT y SZU, Suiza)
1988	Fusión de BBC y ASEA para formar ABB
1993	Comienza el trabajo de desarrollo de BiMOS
1996	Comienza la fabricación de IGCT
1998	Se inaugura la línea de BiMOS en Lenzburg
2004	HVDC de las Tres Gargantas (China)
2010	Adquisición de Polovodice (República Checa)
2010	Nueva factoría de semiconductores de Lenzburg
2012	Plataforma BIGT
2012	ABB anuncia el interruptor híbrido
2013	ABB celebra los 100 años en electrónica de potencia

10 Desarrollo de la potencia de conmutación de los tres principales tipos de dispositivos semiconductores de potencia

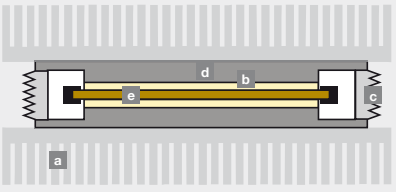


11 Lenzburg es el corazón de las actividades de semiconductores de ABB. La nueva planta de BiMOS se encuentra en el edificio de la derecha.

12 Fabricación de semiconductores en Lenzburg

13 Sección transversal de un dispositivo de contacto a presión

En los **módulos de contacto** por presión, la corriente de carga entra a través de una superficie d y sale por la superficie opuesta. La baja resistencia eléctrica y térmica de los contactos queda asegurada por la elevada presión mecánica sobre esas superficies.



a Sumidero de calor
b Compensación CTE (Mo)
c Encapsulado (cerámico)
d Cobre
e Semiconductor

malmente la conducción, pero la inyección de corriente en un tercer contacto (llamado puerta) inunda esta zona con portadores de carga, permitiendo que la corriente circule si existe una tensión directa entre ánodo y cátodo. Una vez activado, la reposición de portadores de carga se autosostiene, lo que significa que la corriente de disparo se puede eliminar. La conducción no se interrumpe hasta que la intensidad no cae por debajo de un valor crítico. Por lo tanto, el dispositivo puede utilizarse para inversión de líneas conmutadas, pero no para autoconmutación (a menos que se utilicen componentes externos para crear artificialmente un paso por cero de la tensión). Entre 1960 y 1980, los valores máximos de la tensión de bloqueo y la potencia admisible por dispositivo aumentaron de forma aproximadamente lineal, desde cerca de cero en 1960 hasta 6.000 V y 600 kW en 1980 → 0.

GTO

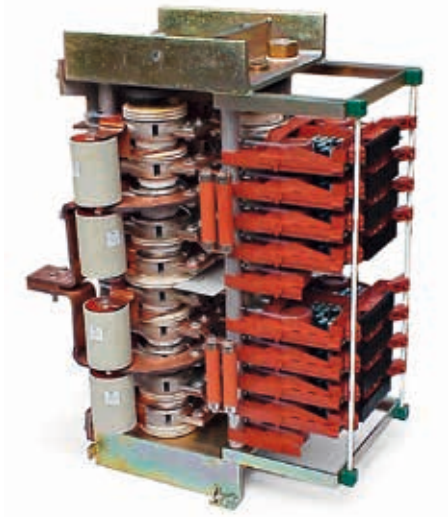
La producción de GTO comenzó a mediados de los 1980. Un GTO (tiristor desactivable por puerta) es un tiristor que se puede apagar aplicando una corriente en la puerta en sentido contrario al que se precisa para encenderlo. La capacidad para fabricar dispositivos que pudieran ser apagados sin un pase artificial por cero ayudó a ampliar el horizonte de aplicación de los semiconductores de potencia, permitiendo por ejemplo convertidores de CC-CC e inversores autoconmutados. Además, mediante múltiples ciclos de conmutación durante una media onda de CA se puede conseguir una salida de CA menos rectangular en su forma. La anchura de los impulsos de corriente se varía para modular la forma de onda deseada, reduciendo así los armónicos.

Fabricación de semiconductores

BBC inició la producción de semiconductores en Ennetbaden, Suiza. BBC construyó una moderna fábrica de semiconductores en Lampertheim a finales de los 1960, y pretendía concentrar allí toda la fabricación. Sin embargo, parte de la producción de Ennetbaden (principalmente las actividades que representaban desarrollo y fabricación piloto, pero también niveles reducidos de producción) se trasladó a Birr, Suiza. Estas actividades se trasladaron a una nueva fábrica en Lenzburg, Suiza, en 1981. Después de la fusión de ASEA y BBC para formar ABB en 1988, el emplazamiento de Lampertheim se vendió a IXYS, y se cerró la fábrica de ASEA en Västerås, Suecia, concentrando toda la producción

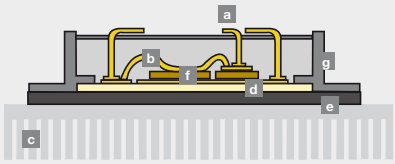
14 GTO de distintos diámetros

15 GTO montados en una pila con unidades de puerta y elementos de refrigeración



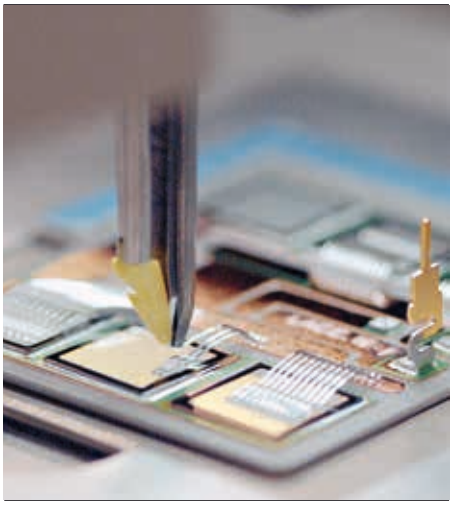
16 Sección transversal de un módulo Hi-Pack IGBT

En los **módulos de encapsulado** aislados, el semiconductor f está aislado galvánicamente del sumidero de calor c. Los contactos eléctricos dentro del módulo están realizados por hilos de unión.



a Conexiones de alimentación y control
b Hilo de unión
c Sumidero de calor
d Cerámica (normalmente AlN))
e Placa base (normalmente AlSiC)
f Semiconductor
g Carcasa

17 Soldadura de contactos para chips de IGBT



en Lenzburg. El punto fuerte de ASEA se encuentra en los tiristores y los componentes de rectificadores con un diseño de bisel negativo, mientras que para BBC reside en los diodos, los GTO y los tiristores. Aunque había cierta superposición, las distintas coberturas fueron en buena parte complementarias.

En aquella época, la fabricación de semiconductores no se consideraba dentro de ABB un negocio en sí mismo, sino que se percibía como una actividad de apoyo a otras áreas de producción, como por ejemplo accionamientos o HVDC. El desarrollo y la inversión en la producción fueron así impulsados en gran manera por las necesidades de otras actividades de ABB. Todo esto cambió rápidamente cuando Anders Nilarp fue nombrado para dirigir las actividades de semiconductores de ABB. Transformó la actividad en una empresa autónoma, que compite directamente con otros fabricantes de semiconductores en el mercado exterior. Su estilo carismático transformó asimismo el funcionamiento de la fábrica de Lenzburg al buscar continuamente motivar y capacitar a los empleados. En 1995, la fábrica de Lenzburg fue finalista del premio European Quality Award, y en 1996 recibió el premio “Supplier of the Year Award” de General Electric.

IGBT

El logro mayor de Nilarp fue la nueva fábrica de BiMOS que abrió en Lenzburg en 1998, específicamente adaptada a la fabricación de IGBT (transistor bipolar de puerta aislada). La introducción del IGBT representó un nuevo salto adelante en lo que se refiere a la complejidad de fabricación y las tecnologías incluidas, pero al mismo tiempo representó también un cambio de marcha en las prestaciones y la capacidad del dispositivo. Un IGBT es un semiconductor de potencia controlado mediante tensión en lugar de con la intensidad, lo que también reduce las necesidades de potencia y espacio de las unidades de puerta (las unidades accionadoras externas que encienden y apagan el interruptor por medio de la puerta), permitiendo unos convertidores más compactos y ligeros. Los IGBT son también intrínsecamente más estables que los GTO, lo que reduce la necesidad de circuitos de protección y pueden también trabajar más rápido, permitiendo mayores frecuencias de conmutación.

IGCT

A fin de hacer disponible una capacidad de conmutación con hardware para cate-

18 Módulos Hi-Pak IGBT

19 Módulos StakPak IGBT

gorías de más potencia, ABB lideró el IGCT (tiristor conmutado por puerta integrada) a mediados del decenio de 1990. Desarrollado a partir de la tecnología del GTO, el nuevo dispositivo era capaz de una conmutación mucho más rápida que los GTO convencionales. Para ello se apoyaba en una unidad de puerta integrada de baja inductancia. Este desarrollo fue notable, ya que se produjo en un momento en que otros fabricantes se retiraban del desarrollo del GTO, al suponer que la tecnología no tenía futuro.

ABB reforzó aún más su presencia en el mercado con la adquisición de la empresa checa de semiconductores Polovodice en 2010. Esto ha aportado a ABB un segundo centro de fabricación (en Praga). Al mismo tiempo, se volvió a aumentar la capacidad de Lenzburg con la construcción de otra fábrica → 11.

Fabricación y diseño

La fabricación de semiconductores es un proceso muy delicado. El material de base de silicio debe ser de muy alta calidad con niveles extremadamente bajos de contaminación. La inserción de los materiales p- o n- necesarios (dopado) es un proceso muy preciso que requiere la duración y la temperatura adecuadas. Por ello, la fabricación se realiza en las denominadas salas limpias que se caracterizan por una atmósfera cuidadosamente controlada que mantenga lo más bajo posible los niveles de contaminación → 12.

La mayoría de los semiconductores de mayor tamaño (incluyendo tiristores, GTO e IGCT) incorporan un denominado encapsulado de flotación libre. La oblea de silicio está sellada dentro de una cubierta cerámica con contactos de cobre → 13–14. Los contactos deben presionarse contra el silicio con una fuerza exterior especificada para garantizar una conductividad eléctrica y térmica óptima. Para asegurar esta fuerza, los dispositivos están dispuestos en pilas → 15, intercalando normalmente unidades de refrigeración en la misma pila. Los dispositivos se diseñan para que se cortocircuiten en caso de fallar. Una pila típica con dispositivos conectados en serie tendrá por tanto cierta redundancia, lo que permite que siga funcionando normalmente hasta la siguiente intervención de mantenimiento programado.

La introducción del IGBT marcó una desviación de esta práctica. En lugar de usar obleas grandes, los módulos IGBT presentan un gran número de pequeños chips. Los hilos de contacto se sueldan directamente sobre los chips → 16–18, eliminando así la necesidad del montaje a presión en pilas y simplificando el montaje del convertidor al tiempo que se reducen las exigencias de peso y espacio y se facilita el intercambio de módulos individuales durante el mantenimiento. Sin embargo, también se suministran IGBT en alojamientos de pilas a presión para aplicaciones que precisan tales conjuntos (StakPaks) como en HVDC → 19.

BIGT

El último desarrollo de la familia IGBT es el BIGT (transistor bimodal de puerta aislada), un IGBT que integra el diodo de conducción inversa de forma que ahorra mucho espacio (el BIGT se presenta más a fondo en las páginas 19-23 de este número de la *Revista ABB*). El BIGT es un componente importante de uno de los anuncios más importantes de ABB de las últimas décadas: el interruptor automático híbrido (del que se habla en las páginas 6-13).

El interruptor automático híbrido es otro ejemplo de semiconductores que encuentran su camino en usos completamente nuevos. La variedad de aplicaciones de la electrónica de potencia está creciendo en una forma que hace sólo algunos años parecía inimaginable.

Se reconocen y agradecen las aportaciones a este artículo de Bjorn Backlund, Jurgen Bernauer, Christoph Holtmann, Norbert Lang, Munaf Rahimo, Marco Rossinelli y Adriaan Welleman.

Andreas Moglestue
ABB Review
Zurich, Suiza
andreas.moglestue@ch.abb.com

Lecturas recomendadas

H. R. Zeller, Los chips ganadores: Historia de los semiconductores de potencia de ABB, *Revista ABB* 3/2008, páginas 72–78
S. Linder, Semiconductores de potencia: Primera parte: Bases y aplicaciones, *Revista ABB* 4/2006, páginas 34–39
S. Linder, Semiconductores de potencia: Segunda parte: Tecnología de encapsulado y desarrollos futuros, *Revista ABB* 1/2007, páginas 62–66
E. Anwand, A. Kloss, 75 Jahre BBC-Leistungselektronik, Elektroniker Nr. 11/1988
R. Wetzel, Die Geschichte des Quecksilberdampfgleichrichters bei BBC Deutschland 1913–963, Tesis doctoral Universidad de Stuttgart, 2001
L. Haglöf, P. Danfors, HVDC Veterans Presentation, Visby Gotland, 2004.
Schiesser, 25 Jahre Brown Boveri Mutator, Brown Boveri Mitteilungen 5/6 1938

Consejo de redacción

Prith Banerjee
Consejero delegado de tecnología y
Vicepresidente ejecutivo

Clarissa Haller
Responsable de comunicaciones corporativas

Ron Popper
Jefe de Responsabilidad empresarial

Eero Jaaskela
Jefe de gestión de cuentas del grupo

Andreas Moglestue
Jefe de redacción de la *ABB Review*

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

ABB Technology Ltd.
ABB Review
Affolternstrasse 44
CH-8050 Zurich
Suiza
abb.review@ch.abb.com

La *ABB Review* se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, español y chino.
La *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 © 2013
ABB Technology Ltd.
Zurich, Suiza

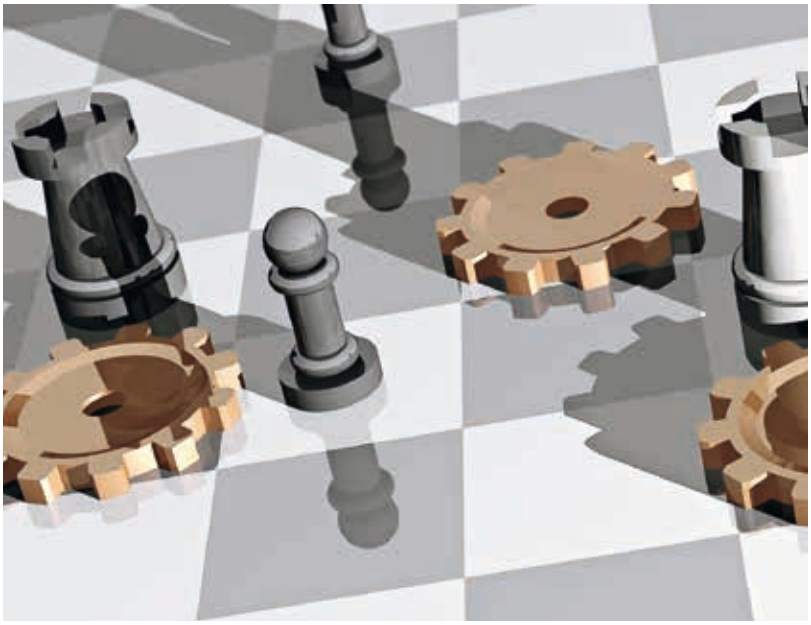
Impresión
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño
DAVILLA AG
Zurich, Suiza

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

ISSN: 1013-3119

www.abb.com/abbreview



Avance 3|13

Simulación

Con tecnologías cada vez más sofisticadas, sistemas cada vez más complejos y posibilidades de interacción entre componentes cada vez mayores, la dificultad de las pruebas también aumenta con rapidez. Aunque la simulación no puede sustituir por completo a los ensayos, hay muchos casos en los que ahorra tiempo y dinero (además de situaciones potencialmente peligrosas).
La simulación también ayuda a conocer mejor los procesos y, por tanto, a optimizarlos. El aumento de potencia de los ordenadores y los avances en la definición de algoritmos hacen que cada vez se puedan simular, y se estén simulando, más sistemas. Además de apoyar el diseño y la ingeniería, las simulaciones pueden utilizarse también para formar operarios y analizar situaciones hipotéticas.

El número 3/2013 de *ABB Review* se centrará en la simulación y revelará que ABB está utilizando y desarrollando esta técnica para mejorar la entrega de sistemas y soluciones a los clientes a tiempo y de forma satisfactoria.

Manténgase informado…

¿Alguna vez se ha perdido un número de *ABB Review*? Ahora le proponemos una forma sencilla de recibir un aviso cada vez que se publique un nuevo número (o un informe especial) de *ABB Review*. Suscríbase en la lista de correo de *ABB Review* en http://www.abb.com/abbreview

Colocar aquí una etiqueta con la dirección

¿Reducir anualmente las emisiones de CO_2 en 260 millones de toneladas?

En 2011, nuestra base instalada de convertidores de frecuencia redujo las emisiones de CO_2 en 260 millones de toneladas. Estos productos, que ajustan la velocidad de los motores, reduciendo así la energía consumida, son una de las muchas soluciones de ABB que contribuyen a la eficiencia energética, a la reducción de emisiones de CO_2 y al ahorro de costes. **www.abb.com/betterworld**

Por supuesto.

Power and productivity
for a better world™

ABB