



La conexión del ferrocarril

Convertidores de frecuencia para suministrar electricidad a los ferrocarriles
Gerhard Linhofer, Philippe Maibach, Niklaus Umbricht

Los ferrocarriles eléctricos necesitan mucha energía. De hecho, muchos de ellos explotan sus propias redes eléctricas de alta tensión e incluso algunos poseen sus propias centrales de generación. Sin embargo, pocos son totalmente autónomos. Deben intercambiar energía con las redes nacionales. Esto no es tan sencillo como puede parecer a primera vista. Por razones históricas, muchos sistemas de ferrocarriles están electrificados a frecuencias diferentes de las de las redes domésticas y, más aún, no siempre están sincronizadas.

Históricamente, para transformar la electricidad de una frecuencia a otra se emplearon máquinas rotatorias, completadas por equipos auxiliares cuando era necesario compensar la desviación de frecuencia dentro de ciertos límites. Sin embargo, la solución más avanzada es distinta: las nuevas instalaciones emplean convertidores de frecuencia basados enteramente en electrónica de potencia. Ofrecen numerosas ventajas, incluidos tiempos de respuesta menores y capacidad para ofrecer un mejor control de la energía reactiva.

Convertidores

Los convertidores de frecuencia basados en la electrónica de potencia se han utilizado durante muchos años para interconectar redes no sincronizadas o con distintas frecuencias de funcionamiento. Se basan principalmente en tiristores conmutados en línea. Sólo desde hace poco se emplean con este fin convertidores con semiconductores de apagado, en forma de convertidores de fuente de tensión con enlace de CC. La alimentación eléctrica de las redes monofásicas de los ferrocarriles representa un problema especial. Ha habido que esperar a disponer de convertidores de fuente de tensión para introducir en esta área los sistemas de electrónica de potencia y sustituir los convertidores rotatorios de frecuencia, de uso muy extendido hasta entonces.

Repaso histórico y estado actual

Hoy en día se emplean tres sistemas distintos de alimentación para los ferrocarriles eléctricos.

En los países o regiones en los que se han electrificado hace poco las líneas de ferrocarril (tras la llegada de la electrónica de potencia para la propulsión de locomotoras, que permite controlar la velocidad de los motores de tracción), a menudo las catenarias se alimentan desde las redes públicas a una frecuencia de 50 Hz (o 60 Hz), normalmente en una tensión de línea de 25 kV.

Antes de que se dispusiera de dispositivos de electrónica de potencia era preciso utilizar otros sistemas de alimentación eléctrica. Algunos países en los que las líneas de ferrocarril estaban electrificadas mucho antes optaron por la corriente continua (CC) (las tensiones en la línea eran de 1,5 y 3 kV). La ventaja de este sistema era la facilidad con la que se podía controlar la velocidad de los motores de CC. En otros países se eligió la corriente alterna y se emplearon motores de conmutadores. La velocidad de estos motores se puede controlar también con facilidad, pero puesto que una frecuencia de 50 o 60 Hz era demasiado

grande para el conmutador, se adoptó una frecuencia de alimentación menor.

Se pueden encontrar ferrocarriles que trabajan con corriente alterna monofásica de baja frecuencia:

- en la costa este de los Estados Unidos: 25 Hz;
- en Noruega y Suecia: 16,7 (16 2/3) Hz; y
- en Alemania, Austria y Suiza: 16,7 (16 2/3) Hz.

En el pasado, se han empleado convertidores rotatorios compuestos por dos máquinas eléctricas con un número de polos diferente, dispuestas sobre un eje mecánico común para el intercambio de energía entre los ferrocarriles y las redes trifásicas nacionales. Existen dos diseños distintos: en los Estados Unidos y Escandinavia, las máquinas síncronas se emplean en ambos lados de la red, con lo que se consiguen redes casi "sincronizadas". La relación de frecuencias es fija y no se puede cambiar. En Europa central, las compañías de ferrocarriles disponían de estaciones eléctricas propias que empleaban desde el principio máquinas monofásicas, y operaban sus propios sistemas de transporte de alta tensión, independientemente de la red trifásica nacional. De esa forma, las redes nacionales y las de los ferrocarriles no están "sincronizadas" de

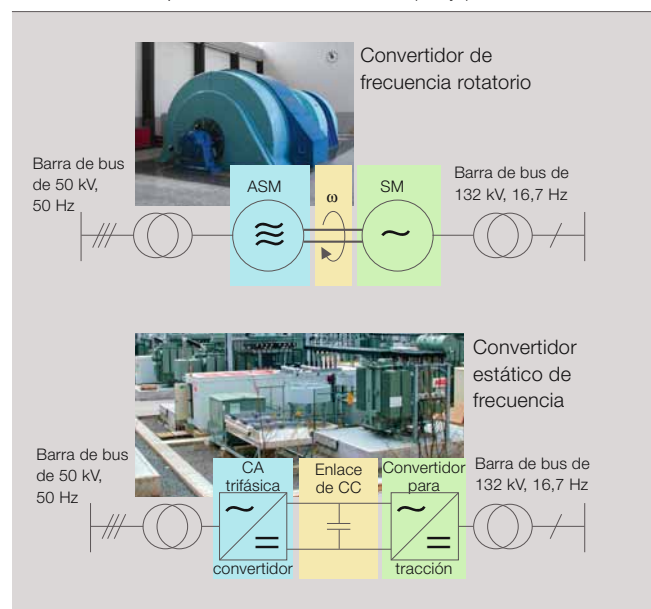
manera rígida, pero la relación de frecuencias varía dentro de ciertos límites. Para solucionar esto, los convertidores rotatorios tenían que ser de un diseño especial. Eran las llamadas máquinas de Scherbius. Las máquinas síncronas se utilizaban únicamente en el lado monofásico. En la red trifásica se empleaba una máquina de inducción con rotor bobinado y anillos deslizantes. Grupos adicionales de máquinas (pequeñas) regulan la desviación de frecuencia en el rotor permitiendo variaciones de la velocidad (dentro de ciertos límites).

En un desarrollo más reciente, resultaron adecuados para este fin los convertidores de frecuencia de electrónica de potencia en forma de convertidores de tensión. Por ello, ya no se fabrican los convertidores de frecuencia rotatorios. De hecho, en los últimos 15 años se han puesto en servicio convertidores de frecuencia con una potencia total de casi 1.000 MW. Aproximadamente dos tercios de ellos fueron suministrados por ABB. En la actualidad se fabrican o se han solicitado otros 600 MW de dichos convertidores. Aproximadamente, 500 MW de los mismos serán servidos por ABB.

Comparación con los convertidores rotatorios

Los convertidores convencionales conmutados en línea nunca han sido competidores importantes para el suministro de esas redes monofásicas. A diferencia de las redes trifásicas, no se pueden equilibrar las configuraciones de conmutación. Esto produce unas deformaciones de tensión inaceptables. Sin embargo, se han construido algunos convertidores directos (cicloconvertidores) pero los armónicos que afectan a ambas redes son muy grandes y ocasionan perturbaciones en el funcionamiento de la red. Otra inconveniencia de estos convertidores reside en el hecho de que la salida que alimenta la red monofásica fluctúa con una frecuencia doble de la de esta red. Esta fluctuación se manifiesta y produce perturbaciones en la red trifásica.

1 Un convertidor de frecuencia rotatorio con una máquina asíncrona (ASM) y una máquina síncrona (SM) (arriba) y un convertidor estático de frecuencia para instalación en exterior (abajo)



2 IGCT (tiristor conmutado de puerta integrada) con el elemento semiconductor en su carcasa de material prensado (izquierda) y la unidad de puerta (derecha). La unidad de puerta está conectada al semiconductor mediante una tarjeta de circuito impreso multicapa con una inductancia extremadamente baja.



Sólo después de que hayan aparecido semiconductores de apagado potentes en forma de GTO (tiristores de apagado de puerta), se pudieron construir convertidores de fuente de tensión autoconmutados.

La interconexión de redes trifásicas y monofásicas exige más a los convertidores rotatorios y de electrónica de potencia que la de dos redes trifásicas. Una razón principal para ello es el hecho de que la corriente en la red monofásica oscila a una frecuencia doble de la frecuencia de la red. En el caso de los convertidores rotatorios, estas fluctuaciones del par y la corriente se absorben y amortiguan mediante masas giratorias. Sin embargo, hay que absorber las vibraciones resultantes mediante anclajes mecánicos y cimentación. La consecuencia es una mayor complejidad del diseño, tanto de la máquina como de su cimentación.

Cuando se usan convertidores de tensión en esta aplicación, se filtra la oscilación empleando una batería de condensadores y una inductancia, ajustadas para duplicar la frecuencia de trabajo de la red monofásica.

Otro problema reside en el hecho de que un sistema de ese tipo, no sólo tiene que actuar como fuente de tensión y energía reactiva, sino que también debe poder tratar sin interrupcio-

nes la transición desde el sistema interconectado al trabajo aislado en caso de perturbación en la red. Además, debe ser capaz de actuar como la única fuente de alimentación de una sección aislada de la línea del ferrocarril y poder resincronizarse con el resto de la red de alimentación del ferrocarril, una vez que se haya eliminado la perturbación 1.

Ejemplos de convertidores de frecuencia

La tecnología de convertidores estáticos representa para ABB una larga tradición. Los primeros convertidores para alimentar una línea férrea entraron en servicio en Suecia. Sin embargo, la tecnología desarrollada no era muy adecuada para su empleo en Europa central, donde la estructura de la red eléctrica de las líneas férreas era muy diferente y los requisitos de calidad de la tensión eran mayores. Los dos primeros convertidores de frecuencia, de 25 MVA cada uno, entraron en servicio en Giubiasco (Suiza) en 1994. Después del éxito de este proyecto, se continuó desarrollando la tecnología de GTO y en 1996 entró en servicio en Bremen (Alemania) un convertidor de 100 MW. Este convertidor estaba equipado con GTO "con disco duro". Eran GTO con una puerta concéntrica y una unidad de puerta que alimentaba la señal de control a la puerta a través de una conexión de inductancia extremadamente baja. El resultado era una

conmutación de los semiconductores considerablemente mejorada. Esta tecnología se aplicó finalmente a una estación convertidora de línea férrea en Karlsfeld (Alemania) con una potencia de $2 \times 50 \text{ MW}/67 \text{ MVA}$, que entró en servicio en 1999.

El paso siguiente fue el desarrollo de un nuevo elemento de semiconductor, el tiristor conmutado de puerta integrada (IGCT)¹⁾. Era un desarrollo del GTO que incluía mucha más capacidad de conmutación, menores pérdidas y la unidad de puerta de baja inductancia como un "componente" integrado. Finalmente, el diseño compacto condujo al desarrollo de módulos de convertidor normalizados y permitió fabricar convertidores de distintas clases. En la actualidad están en servicio 21 convertidores de la gama de 15 a 20 MW y funcionan a completa satisfacción de los clientes. A causa de su diseño modular pueden aplicarse con mucha facilidad otras clases de potencia, más acorde en saltos de 15 MW. Se consiguen conectando en paralelo los módulos de convertidor y los convertidores que se basan en ellos.

Esta generación de convertidores establece nuevos criterios en términos de

Notas a pie de página

¹⁾ Para más información sobre los IGCT, véase "Un punto diminuto capaz de cambiar el mundo" en las páginas 15-18 de este número de la Revista ABB.

Convertidores

prestaciones, espacio ocupado y tiempos reducidos para su instalación y puesta en servicio. Las opiniones positivas recibidas de los clientes demuestran que el convertidor normalizado para líneas férreas de ABB se adapta bien a sus necesidades.

El módulo base

El “corazón” del módulo convertidor, el IGCT, se muestra en 2. El IGCT reúne las ventajas del GTO y el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada), es decir, solidez, bajas pérdidas de conmutación y conducción, así como una capacidad de conmutación rápida. Las propiedades de este elemento semiconductor no han sido superadas para las aplicaciones presentadas aquí (potencia alta, media tensión). Por ejemplo, para la misma aplicación (alta tensión, IGBT, IEGT), un IGBT presenta pérdidas de conmutación comparables considerando la misma superficie de silicio, pero pérdidas de conducción considerablemente mayores. Además, el IGCT permite un diseño de convertidor con el mínimo de circuitos adicionales. Por ejemplo, un módulo de fase sólo precisa un circuito de protección simple, mientras que cada GTO requiere muchos circuitos. Esto se traduce en ventajas en relación con los costes, la compactidad y las pérdidas.

Las pérdidas se producen cuando se conmuta un semiconductor o cuando circula corriente por él. Se pueden minimizar esas pérdidas reduciendo la frecuencia de conmutación. Por otro lado, la frecuencia de conmutación no debe ser demasiado baja a causa de los armónicos que se producen. Por ello, existe una posibilidad de buscar un óptimo entre pérdidas y armónicos. Una forma elegante de superar parcialmente este dilema es escoger una topología multinivel. Esto permite que el convertidor trabaje con una frecuencia relativamente baja y que al mismo tiempo consiga un buen comportamiento frente a los armónicos.

Los módulos trifásicos se emplean para producir tensión de CA a partir de una tensión en CC. Dichos módulos se pueden considerar como conmutadores de cambio con tres posiciones. Se puede conmutar la salida al positivo (+), al neutro (0) o al negativo (-) del enlace de CC 1.

Se combinan módulos bifásicos de este tipo en un módulo bifásico de tres niveles. Todos los IGCT se refrigeran por las dos caras. El medio para la refrigeración (una mezcla de agua y glicol) se suministra a través de conexiones de manguitos a los pozos

de calor. La estructura mecánica de doble pila permite un diseño muy compacto. Esto ayuda a conseguir los valores reducidos de inductancia parásita que se precisan en la pila permitiendo utilizar los semiconductores en su punto óptimo. Sin embargo, el acceso a todos los semiconductores de la pila sigue siendo posible, lo que permite su fácil sustitución. Se puede cambiar cada semiconductor con la ayuda de una sencilla herramienta sin interrumpir el circuito de refrigeración. 1 muestra un ejemplo de dicha doble pila.

Ejemplo: convertidor de la clase de 15–20 MW

5 muestra el esquema de una estación de convertidores completa.

Convertidor de 50 Hz (SR50)

El convertidor de 50 Hz 5a tiene los atributos siguientes:

- **Diseño:** el convertidor de 50 Hz se compone de dos unidades trifásicas estándar, de tres niveles. Se combinan dos fases en una pila para formar un módulo bifásico. Un módulo bifásico de una unidad de tres niveles se compone de ocho IGCT combinados con ocho diodos de rueda libre, y cuatro diodos de rueda libre en el conductor neutro. La unidad de puerta y el GCT forman una unidad integrada, el IGCT. El circuito fijador sirve para limitar la di/dt y la tensión. Se compone de reactancias de limitación de corriente, condensadores y diodos de bloqueo con resistencias.

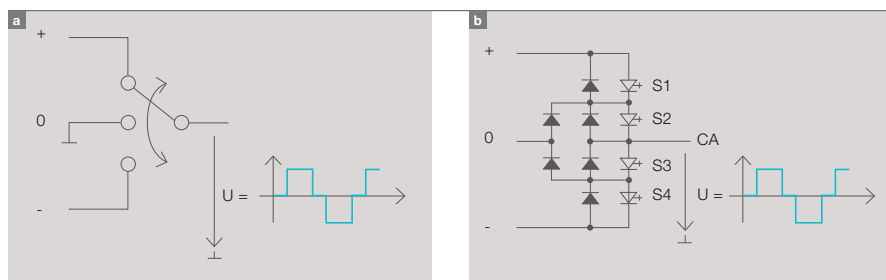
- **Circuitos y método de control:** el convertidor de 50 Hz se construye en una configuración real de 12 impulsos. Por ello, sólo se producen armónicos característicos de los 12 impulsos ($n = 12k \pm 1$; $k = 1, 2, 3, 4, \dots$). En función de la frecuencia de conmutación de los semiconductores y la estrategia de modulación seleccionadas se pueden cancelar algunos de los armónicos restantes. En caso necesario, se pueden amortiguar los armónicos a valores todavía menores aplicando un filtro de línea.

Convertidor de 16,7 Hz

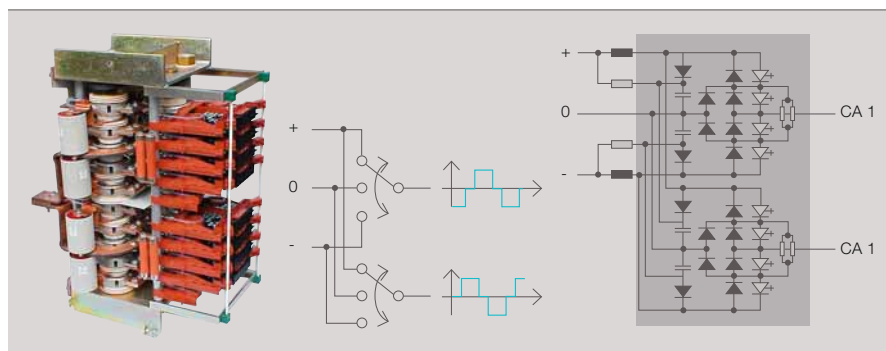
El convertidor de 16,7 Hz 5b tiene los atributos siguientes:

- **Diseño:** el convertidor de 16,7 Hz se compone de cuatro unidades

3 Principio de funcionamiento del módulo convertidor de tres niveles y su incorporación a dispositivos de semiconductores



4 Estructura mecánica de doble pila y esquema del circuito correspondiente





bifásicas estándar, de tres niveles. Se combinan dos fases en una pila para formar un módulo bifásico que se puede emplear para formar un puente H monofásico. Un módulo bifásico se compone de los mismos elementos que lo descrito anteriormente para el convertidor de 50 Hz.

■ **Circuitos y método de control:**

el convertidor de 16,7 Hz se dispone en una configuración con ocho pasos. Los niveles de tensión de salida del convertidor se agregan por medio de la conexión en serie de los devanados del transformador en el lado de la línea en los cuatro puentes H de tres niveles con impulsos desfasados. Cada puente H trabaja en el modo de tres impulsos empleando una técnica convencional de PWM (modulación de anchura de impulso).

Limitador de tensión

En caso de que la tensión en el enlace de CC superara un límite superior, se descargaría a través de una resistencia hasta alcanzar el límite inferior ^{5c}. El control del limitador de tensión actúa de forma independiente del sistema de control del convertidor para la CA bifásica (lado de la línea férrea) y la CA trifásica (lado de la red). Así se asegura que la tensión del enlace de CC permanezca en todo momento dentro del margen fijado.

Enlace de CC

Todos los módulos bifásicos del convertidor se conectan entre sí en el lado de CC por medio de una barra bus que recibe todas las conexiones de cada módulo del convertidor: para los condensadores directamente co-

nectados al enlace de CC y para las baterías de filtros de éste, así como para medida de la tensión.

El enlace de CC constituye la conexión entre los convertidores de 50 Hz y 16,7 Hz. El enlace de CC se compone de los siguientes elementos fundamentales:

- Batería de condensadores conectada directamente que se emplea para almacenar la energía
- Filtro de 33,4 Hz que absorbe las fluctuaciones de energía de la red de la línea férrea ^{5e}
- Filtro pasa-altos que absorbe los armónicos de las frecuencias más altas desde la red de la línea férrea,

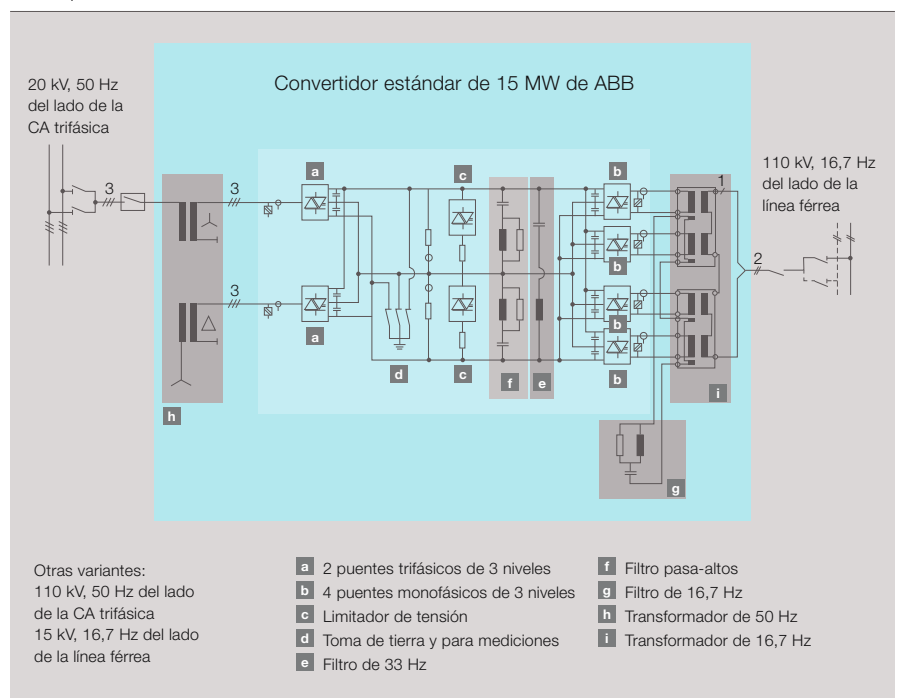
en particular los armónicos tercero y quinto de la misma ^{5f}

Los filtros del enlace de CC (junto con los condensadores conectados directamente) sirven asimismo para almacenar energía. Esto es preciso por razones de control. La capacidad del almacenamiento de energía es suficiente para hacer frente a una pérdida de carga inesperada de P = 100% lo bastante rápido para mantener la tensión del enlace de CC dentro de los límites fijados.

Filtro de 33,4 Hz

El filtro de banda eliminada de 33,4 Hz tiene por objeto absorber las pulsacio-

⁵ Esquema de una estación de conversión



Convertidores

nes de energía de la red de la línea férrea **5a**. A pesar del alto factor de calidad de aproximadamente 200 (es decir, una baja amortiguación), el filtro presenta una característica de banda ancha alrededor de su frecuencia central debido a su comportamiento altamente capacitivo. Esto permite absorber las desviaciones de la frecuencia fijada para la línea férrea. Además, las pérdidas en el filtro son relativamente pequeñas dado que los condensadores presentan pérdidas considerablemente menores que las reactivas.

Filtro pasa-altos

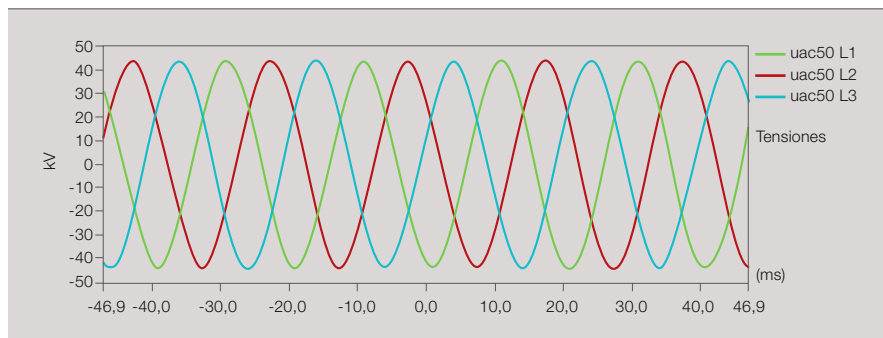
El filtro pasa-altos absorbe los armónicos de las frecuencias más bajas que se originan principalmente en la red de la línea férrea **5f**. Se configura el filtro como circuito amortiguado de absorción de segundo orden ajustado por debajo del quinto armónico de la frecuencia fundamental de la red del ferrocarril. Esto se debe a los armónicos característicos tercero y quinto de la tensión de la red del ferrocarril que se reflejan como segundo, cuarto y sexto en el enlace de CC. Los armónicos de las frecuencias más altas de la red trifásica y de la red del ferrocarril así como los producidos por la pulsa-

ción son también absorbidos parcialmente por este filtro pero lo son principalmente por los condensadores del convertidor conectados directamente. Por ello, también se tienen en cuenta los armónicos que se prevén en estas redes para el dimensionamiento de estos componentes.

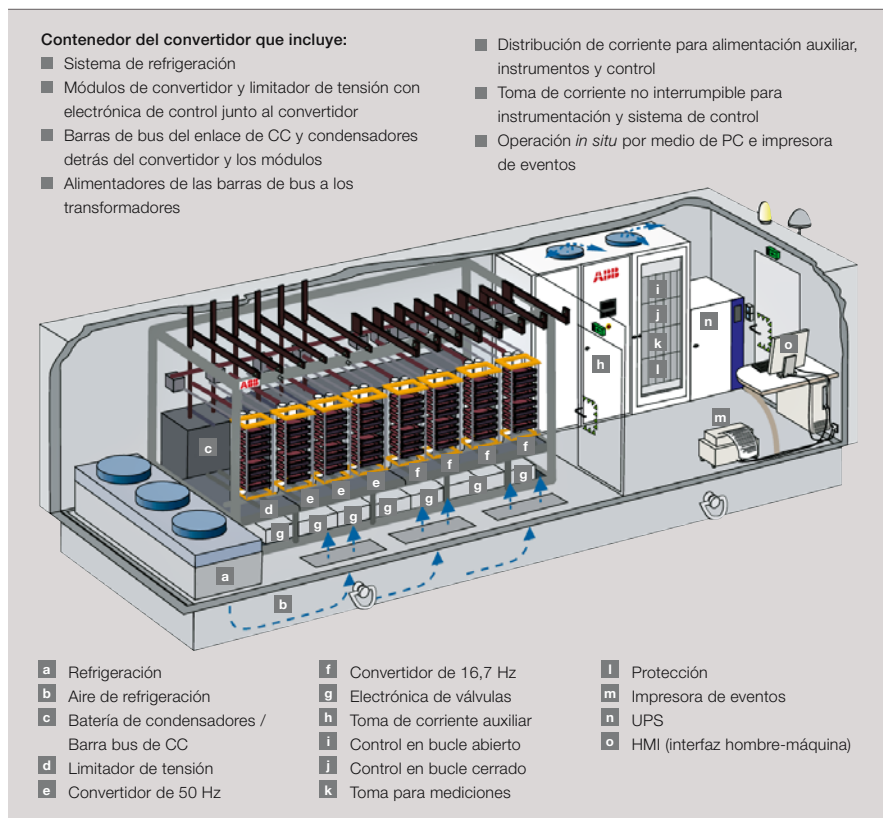
Contenedor del convertidor

El convertidor y el sistema de control asociado se presentan completamente conectados y probados en un contenedor estanco. El sistema de refrigeración se entrega en un contenedor separado. Ambos contenedores se montan sobre una base de apoyo común. **6** presenta una sección transversal del contenedor de convertidor.

7 Tensiones trifásicas en el punto de conexión de la red de 50 Hz



6 Contenedor del convertidor



Transformadores del convertidor

■ **Transformador de 50 Hz:** el transformador de 50 Hz del convertidor de 50 Hz alimenta los dos puentes trifásicos basados en IGBT. Un transformador trifásico se compone

Cuadro Ventajas de los convertidores estáticos de frecuencia (electrónica de potencia) comparados con los convertidores rotatorios

Costes

Son considerablemente menores si se toma en consideración los costes generales que incluyen los sistemas auxiliares, la construcción y el montaje y los costes de capital y de explotación de los convertidores estáticos.

Rendimiento

Los convertidores estáticos ofrecen un rendimiento de aproximadamente el 97 % (incluyendo los transformadores conectados a ambas redes) para una amplia gama de condiciones de funcionamiento. El rendimiento de los convertidores rotatorios varía por debajo del 90-95%, dependiendo del tamaño y del punto de trabajo.

Disponibilidad

La disponibilidad de los convertidores rotatorios es considerablemente menor a causa de sus tiempos de inmovilización por mantenimiento y reparación.

Comportamiento durante el funcionamiento

Los tiempos de respuesta de los convertidores estáticos son considerablemente menores a causa de la ausencia de masas en rotación. No existen problemas de estabilidad de tensión en caso de perturbaciones en la red producidas por oscilaciones en el rotor.

o bien de un núcleo de tres ramas en un diseño de capa doble con un yugo intermedio, o bien de dos núcleos de tres ramas encerrados en una carcasa. Cada rama (parte) incluye un devanado de alta tensión y un devanado en el lado de la válvula. Los dos devanados de la parte de alta tensión se conectan en serie. El devanado de alta tensión se conecta en estrella. Los dos devanados del lado de la válvula están desfasados eléctricamente 30° (conexión estrella/triángulo) para permitir un funcionamiento de los convertidores en 12 impulsos.

La conexión resultante es:

YN y0 d11

- **Transformador de 16,7 Hz:** el transformador de 16,7 Hz del convertidor de 16,7 Hz sirve para sumar las cuatro tensiones parciales en una tensión monofásica prácticamente sinusoidal con una frecuencia nominal de 16,7 Hz. El transformador se compone de cuatro unidades monofásicas. Las tensiones parciales rectangulares se generan en una fuente de tensión de CC (enlace de CC) con ayuda de cuatro puentes de convertidores monofásicos IGCT empleando el método de modulación del ancho de impulso y alimentan a los cuatro devanados del lado de la válvula del transforma-

dor. La agregación y la adaptación a la tensión de la red de la línea férrea se efectúan en el devanado de alta tensión. Se conecta un filtro a los devanados terciarios conectados en serie o a la red de la línea férrea.

Filtro de línea

En el lado de los 16,7 Hz se emplea un filtro para reducir a valores aún menores la distorsión de armónicos, muy baja, producida por el convertidor. En el lado de los 50 Hz, también puede ser necesario.

Las tensiones de salida de los convertidores IGCT forman impulsos rectangulares con un ancho de banda controlable. En comparación con el espectro de frecuencias típico de las máquinas, el espectro de frecuencias de la tensión de salida formado por los niveles individuales presenta sólo armónicos muy bajos en el margen de frecuencias bajas. Con relación a la red, el convertidor representa una fuente de tensión armónica. La inductancia del transformador tiene un efecto de amortiguación que es especialmente remarcable en los armónicos de corriente altos. Esto afecta a su vez a la calidad de la tensión de la red. Para reforzar más el efecto de la inductancia del transformador, se dispone un filtro que reduce todavía más

las tensiones armónicas. Las distorsiones armónicas resultantes se conservan por debajo de los valores exigidos. ■ ilustra la buena calidad de la tensión en el punto de conexión de la red de un convertidor (oscilograma grabado durante la puesta en servicio).

■ muestra un grupo convertidor de una subestación con cuatro convertidores de la clase de 15–20 MW.

Resumen

La cuota de mercado de ABB para este tipo de sistema, relativamente alta, muestra que el desarrollo previsto del convertidor respondió a los requisitos del cliente. Además, el método modular permite una respuesta flexible a diversos requisitos de prestaciones. Actualmente se construyen unidades de convertidores de 30 MW y superiores, y ABB está esforzándose para permanecer con el mismo éxito en el mercado con esta tecnología tan exigente.

Gerhard Linhofer

Philippe Maibach

Niklaus Umbricht

ABB Automation Products

Turgi, Suiza

gerhard.o.linhofer@ch.abb.com

philippe.maibach@ch.abb.com

niklaus.umbricht@ch.abb.com

- Estación de conversión de frecuencia de la clase de 15–20 MW para el intercambio de energía entre la red nacional de 50 Hz y la red monofásica de 16,7 Hz de la línea férrea. A la izquierda, el transformador con los filtros de CA trifásica montados en la parte superior del pórtico, en el centro, el contenedor del convertidor, y a la derecha, el transformador monofásico de baja frecuencia.



Referencias

- [1] Gaupp, O., Linhofer, G., Lochner, G., Zanini, P., "Powerful static frequency converters for transalpine rail routes" (Potentes convertidores estáticos de frecuencia para las vías férreas transalpinas). *Revista ABB* 5/95, páginas 4–10.
- [2] Lönard, D., Northe, J., Wensky, D., "Statische Bahnstromrichter – Systemübersicht ausgeführter Anlagen". *Elektrische Bahnen* 6/95, páginas 179–190.
- [3] Mathis, P., "Statischer Umrichter Giubiasco der Schweizerischen Bundesbahnen". *Elektrische Bahnen* 6/95, páginas 194–200.
- [4] Steimer, P., Grüning, H., Werninger, J., Dähler, P., Linhofer, G., Boeck, R., "Acoplamiento en serie de tiristores GTO para convertidores de alta potencia". *Revista ABB* 5/96, páginas 14–20.
- [5] Steimer, P., Grüning, H.P., Werninger, J., Carroll, E., Klaka, S., Linder, S., "IGCT, nueva tecnología para convertidores de alta potencia y bajo coste". *Revista ABB* 5/1998, páginas 34–42.
- [6] Meyer, M., Thoma, M., "Netzkompatibilitätsstudie und -messungen für die Umrichteranlage Wimmis". *Elektrische Bahnen* 12/2006, páginas 567–574.
- [7] Jampen, U., Thoma, M., "Statische Frequenzumrichteranlage Wimmis". *Elektrische Bahnen* 12/2006, páginas 576–583.