

El convertidor compacto

Nueva generación de convertidores compactos IGBT de baja tensión para aplicaciones de tracción

Peter Dähler, Gerold Knapp, Armando Nold



No es necesario viajar mucho en Suiza para ver trenes de múltiples unidades suministrados por Stadler Rail, el fabricante suizo de material rodante. Los más sobresalientes son los exitosos trenes regionales FLIRT y GTW, que ofrecen un rendimiento y comodidad muy apreciados. Pero poca gente sabe que los convertidores de potencia de estas unidades son suministrados por ABB. El convertidor compacto de baja tensión CC750® es parte integrante de la brillante historia del ferrocarril.

Con independencia de la fuente de alimentación con la que opere, este convertidor, compacto y versátil, suministra la tensión y frecuencia adecuadas para los motores de tracción, así como la electricidad para los sistemas de a bordo, como la iluminación y el frenado, y para otros sistemas auxiliares. El convertidor CC750® de ABB usa la última generación de módulos semiconductores y una plataforma de control programable de alto rendimiento.

La función de un convertidor es adaptar la energía de la catenaria (cable aéreo) a la tensión y frecuencia deseadas para el funcionamiento del motor a la velocidad y par pretendidos. El convertidor CC750[®] fabricado por ABB alimenta los motores de tracción de los trenes FLIRT¹⁾ [1,2] y GTW²⁾ de Stadler Rail **1**, utilizados por los Ferrocarriles Federales Suizos (SBB) y por muchos otros operadores. El convertidor CC750[®] también suministra la electricidad para los sistemas a bordo, de iluminación, frenado y HVAC (corriente alterna de alta tensión). Usa la última generación de módulos IGBT³⁾ de baja tensión y está equipado con una plataforma programable de control rápido.

El modelo CC750[®] fue presentado en un artículo publicado recientemente por Revista ABB [3], centrado principalmente en el sistema de control AC 800PEC del CC750[®]. El presente artículo analiza el convertidor en sí.

Un sistema Compact Converter CC750 AC consta de un transformador de entrada, dos convertidores de tracción con convertidores auxiliares de potencia y cargador de batería integrados, y un sistema de control AC 800PEC [4] de ABB **2**. El convertidor CC750[®] se puede usar con muchas configuraciones de catenarias usuales, como por ejemplo 15 kV / 16,7 Hz y 25 kV / 50 Hz, y también con combinaciones de diferentes sistemas (para servicios trans-

fronterizos). Existen configuraciones con dos o cuatro convertidores por tren, que proporcionan una potencia de tracción total de 1,3 MW o 2,6 MW en la llanta. Los convertidores pueden situarse dentro del vehículo o ir instalados en el techo o debajo del piso.

La avanzada tecnología de control hace posible que los convertidores funcionen sin circuito resonante en serie en el enlace de CC, de lo que resulta un sistema de transmisión considerablemente más ligero.

Cada convertidor en su propia caja

Una característica esencial del CC750[®] es el montaje de cada convertidor en su propia caja, a prueba de vibraciones **3**. El convertidor, refrigerado por agua, está situado en una caja cerrada con circulación interna de aire a presión y un cambiador de calor aire-agua. El hardware de control está montado sobre una estructura pivotante para facilitar el acceso a la sección de potencia.

Los condensadores del enlace de CC **4** están situados inmediatamente detrás de los módulos IGBT, formando una batería de condensadores de baja inductancia.

Los conectores para la refrigeración por agua, así como la interfaz para el control del vehículo, están situados en la parte superior del convertidor.

Semiconductores en convertidores de tracción

Los convertidores compactos son unidades robustas que incorporan la moderna tecnología IGBT. Cada unidad individual se basa en un bloque funcional de electrónica de alimentación (PE-BB, Power Electronics Building Block) PowerPak 4. Tanto los convertidores de la red como del motor están equipados con semiconductores y controladores de puertas integrados. En el lado del convertidor de la red se requiere una conexión en paralelo de los dos módulos de potencia para gestionar la corriente máxima. En cambio, se proporciona un módulo de potencia por fase en el lado del motor.

Ambos inversores operan en todo el rango de velocidades con un único patrón de impulsos PWM, utilizando una frecuencia portadora de 2 kHz. Las distorsiones de las corrientes de fase sinusoidales tanto en el lado de la red como en el lado del motor del convertidor son muy bajas **5**.

En el caso de transitorios de corta duración como, por ejemplo, los debidos al rebote del pantógrafo, un limitador de tensión limita la tensión del enlace de CC a 800 V.

Sin filtro sintonizado en el enlace de CC

A diferencia de los modernos diseños de convertidores monofásicos, el enlace de CC no cuenta con ningún filtro sintonizado.

1 Los ferrocarriles regionales están ganando atractivo y eficiencia gracias al despliegue de modernos automotores ligeros:

a tren FLIRT¹⁾ de los Ferrocarriles Federales Suizos (SBB) y

b tren GTW²⁾ de THURBO (Thurgau-Bodensee Bahn). Ambos utilizan el convertidor de potencia CC750[®] de ABB.



Ingenio en movimiento

En su lugar, para absorber la fluctuación de potencia de la red monofásica, se ha ampliado notablemente la capacitancia del enlace de CC para mantener una fluctuación de la tensión incluso a plena carga. Debido a la alta densidad de energía de los condensadores electrolíticos en el enlace de CC, el coste y el volumen de los componentes de dicho enlace se redujeron masivamente en comparación con una solución estándar con filtro sintonizado.

Protección en caso de fallo de un semiconductor

Un enlace de CC de gran capacitancia **4** es ventajoso para la estabilidad de la tensión del enlace. Sin embargo, plantea nuevos problemas de protección contra los cortocircuitos. Una desconexión de desaturación autónoma, como la que se usa frecuentemente hoy día para intervenir en caso de fallo de un semiconductor, es insuficiente para impedir un cortocircuito

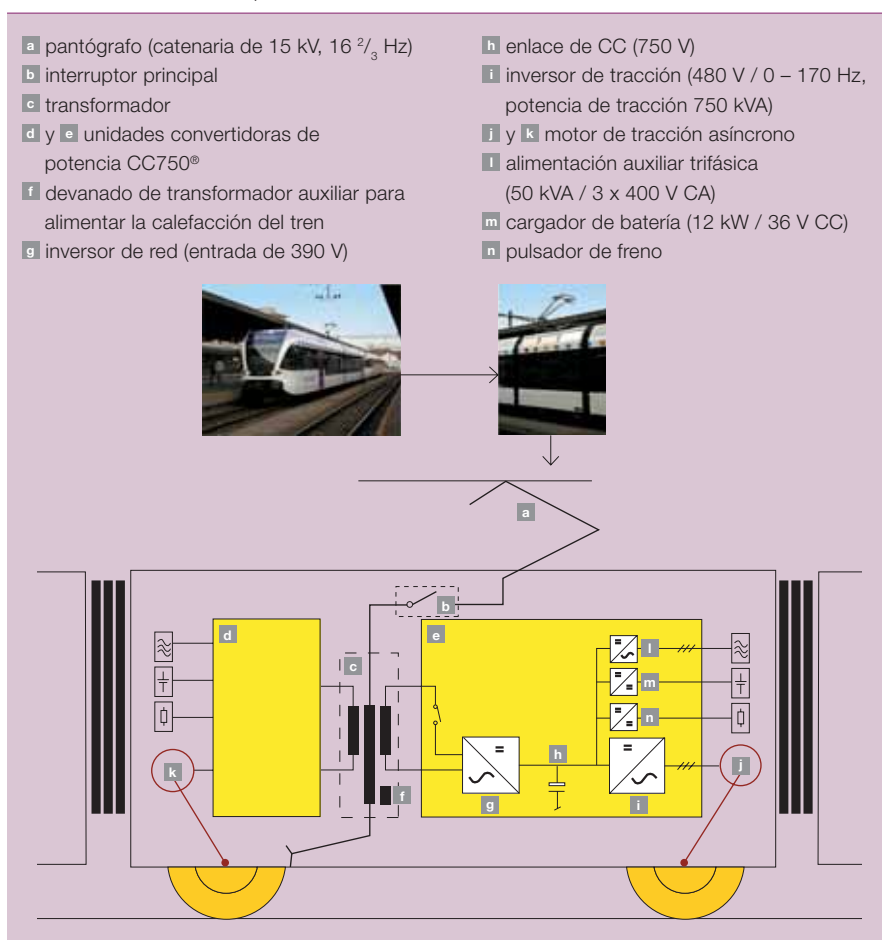
total del enlace de CC cuando fluye energía adicional desde la fase conectada (por ejemplo, la red o el motor) hacia el semiconductor defectuoso. Una avería grave de un transistor IGBT que cortocircuite todo el enlace de CC provocará el fallo del segundo interruptor del semipunto, fuertemente afectado por arcos eléctricos y transitorios de tensión. Por consiguiente, en tal situación habrá que adoptar medidas adicionales para evitar daños mecánicos graves en el IGBT y en el equipo circundante:

Desconectar por detección de la desaturación sigue siendo la primera medida para solucionar el fallo de un IGBT que cortocircuita un interruptor del semipunto. La desconexión sólo tiene éxito si la energía de cortocircuito de la fase conectada es pequeña, por ejemplo, un fallo IGBT de un convertidor auxiliar o de un convertidor del motor, si el motor está operando a una velocidad y un par bajos.

En lugar de esperar a que se abra el interruptor, una unidad de detección de cortocircuitos detecta el fallo en unos pocos microsegundos y lo comunica al sistema de control, que adopta medidas correctoras. De este modo se evita una posible explosión y sólo se producen daños mecánicos localizados en el semiconductor causante del problema, sin ruptura del blindaje del mismo.

Después de una avería grave en un IGBT es preciso sustituir el semiconductor, así como los fusibles y el tiristor de la barra de bloqueo del enlace de CC **6**. Estos elementos de protección (fusibles y tiristor) tienen bajo coste y pueden sustituirse fácilmente. Entre las ventajas de este sistema de protección están la eliminación del impacto sobre los componentes vecinos (depósito de residuos conductores

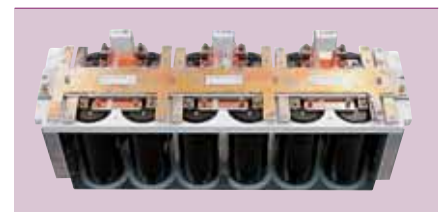
2 Sistema de convertidor de tracción en THURBO GTW con dos unidades CC750® que suministran en total 1,3 MW de potencia de tracción.



3 Ya no es necesario hacer ímprobos esfuerzos para aflojar un tornillo que parece inalcanzable: el hardware de control del CC750® se abre hacia un lado para permitir el acceso a la sección de potencia.



4 Batería de condensadores del enlace de CC. Los condensadores de alta densidad de energía contribuyen a la estabilidad operacional, pero la mayor cantidad de energía almacenada requiere tomar precauciones.



sobre superficies aislantes) y del posterior trabajo de limpieza. La reparación es más rápida, ya que la facilidad de acceso simplifica la sustitución de los componentes. Además, se puede reducir o eliminar el refuerzo de paredes y aplicar otras medidas para canalizar el plasma en caso de que se produzca tal incidente sin poner en peligro la seguridad de los viajeros. Por último, se reduce notablemente el impacto acústico de un fallo grave del semiconductor.

Alimentaciones auxiliares

Las alimentaciones auxiliares ² se integran en el cubículo de los convertidores principales, haciendo del convertidor CC750® un sistema completo que cubre todas las necesidades de energía, de tracción y auxiliar, del vehículo.

Las alimentaciones auxiliares, suministradas directamente por el enlace de CC de la tracción principal, utilizan la misma serie de semiconductores y el mismo esquema de protección que la unidad de tracción principal. Comparar la gran capacitancia del enlace de CC con los convertidores principales significa que las interrupciones breves de la catenaria de alimentación no afectan al funcionamiento de las alimentaciones auxiliares.

La alimentación trifásica de 50 kVA ² está totalmente protegida contra sobrecargas y cortocircuitos y proporciona una tensión de salida sinusoidal de baja distorsión.

La unidad del cargador de batería de 12 kW ^{2m} atiende la batería del vehículo de 200 Ah y se puede adaptar fácilmente para diferentes algoritmos de carga de la batería. También alimenta la línea del vehículo de 36 V que suministra la energía para el control del vehículo, los accionamientos de las puertas, la iluminación, etc.

Experiencia de campo

Gracias a la estabilidad de la estructura de control y a la gran capacitancia del enlace de CC, el sistema ha demostrado ser muy fiable incluso en el caso de rebote del pantógrafo o de malas condiciones en la vía. El sistema de protección del convertidor ha demostrado ser muy eficaz para evitar daños en el cubículo del convertidor si se produjera un fallo de los semiconductores. No obstante, la mejora de fiabilidad de los semiconductores es en general una tarea permanente para garantizar que los modernos sistemas de convertidores satisfagan los altos estándares de fiabilidad y disponibilidad esperados por los clientes.

Con la última generación de módulos IGBT de baja tensión se consigue un diseño compacto y económico de todo el sistema convertidor para vehículos de transporte de cercanías. Debido a la alta frecuencia de conmutación de los transistores IGBT se puede aplicar una estrategia simple de modulación PWM, sin necesidad de alternar entre varias estrategias de modulación. El sistema de control está equipado con una nueva plataforma interna que aplica la tecnología FPGA y un entorno de programación basado en MATLAB®/Simulink®. Gracias a estas avanzadas herramientas [3] es posible proporcionar un software de gran calidad y realizar modificaciones fácilmente, incluso durante el funcionamiento del sistema.

Peter Dähler

Gerold Knapp

Armando Nold

ABB Switzerland Ltd

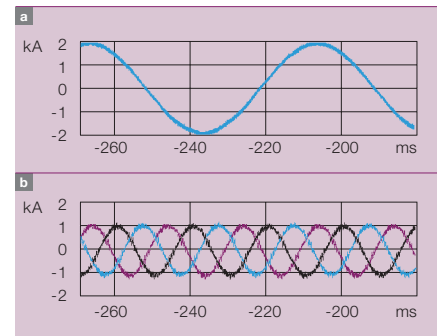
Turgi, Suiza

peter.daehler@ch.abb.com

gerold.knapp@ch.abb.com

armando.nold@ch.abb.com

- 5** La modulación PWM por anchura de impulsos con una portadora de 2 kHz minimiza la distorsión de las corrientes de la red ^a y del motor ^b (medición con velocidad del vehículo de 50 km/h y par motor del 80%).



- 6** Un cortocircuito en el enlace de CC puede causar daños considerables. Conjunto de protección con IGBT, barra colectora, detección rápida de cortocircuitos y barra de bloqueo de CC.



Bibliografía

[1] Peter Bruderer Stadler Rail Bussnang, Description of FLIRT train, Railvolution 4/2004 pages 58-72

[2] Steffen Obst, Ruedi Beutler, Der FLIRT – das Resultat

hoher Kundenanforderungen, Eisenbahntechnische Rundschau, 12/2005 pages 767-771

[3] Armin Eichmann, Andreas Vollmer, Laminación y control, plataforma de control AC 800PEC para numerosas aplicaciones, Revista ABB 2/2006, páginas 26-28

[4] Ernst Johansen, Patrones de diseño, patrones de codiseño para control avanzado con AC 800PEC, Revista ABB 2/2006, páginas 62-65

Notas

¹ FLIRT (Flinker Leichter Innovativer Regional Triebzug), tren regional innovador, rápido y ligero

² GTW (Gelenktriebwagen), automotor articulado

³ IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), transistor bipolar con puerta aislada.