

Los coches eléctricos superaron en ventas a los que incorporaron un motor de combustión interna a principios del siglo XX pero veinte años más tarde prácticamente habían desaparecido. Ahora vuelven en respuesta a los elevados precios del petróleo y a la normativa sobre emisiones y rendimiento del combustible. Algunos de ellos son producidos por fabricantes de automóviles y otros son adaptaciones de un coche con motor de combustión interna a un vehículo eléctrico, pero en cada vehículo con una tensión de la batería más alta que en los vehículos tradicionales la conversión CC/CC es una parte integral de la electrónica de potencia en el automóvil.

### Tecnologías convencionales

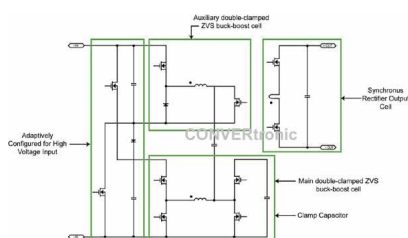
En la actualidad, los convertidores CC/CC emplean los diseños tecnológicos existentes, uno de cuyos aspectos fundamentales es, por ejemplo, la topología. Los convertidores CC/CC aplican numerosas topologías distintas, ninguna de las cuales es superior a las restantes en todos los aspectos. Algunas aplicaciones presentan requisitos que cumplen mejor una determinada topología. Aunque la evaluación completa del gran número de topologías disponibles podría ser una tarea desalentadora, resulta práctico valorar las ventajas e inconvenientes de las dos principales clases de topologías: modulación de anchura de pulso (pulse width modulation, PWM) con frecuencia fija y conmutación a corriente cero (zero current switching, ZCS) cuasirresonante con frecuencia variable.

Entre las dos, el diseño con PWM puede ser algo más sencillo, pero de forma inherente hay un enfrentamiento entre la eficiencia y la frecuencia de trabajo, y ambos son parámetros importantes para los vehículos eléctricos (VE) o híbridos (VH). El funcionamiento a alta frecuencia se ha considerado desde hace tiempo como una de las claves para lograr una alta densidad de potencia

—por ejemplo componentes magnéticos, filtros y condensadores de menor tamaño— en los convertidores conmutados. Sin embargo, en los convertidores conmutados a frecuencia fija, las pérdidas en conmutación aumentan directamente con la frecuencia de trabajo, dando como resultado una “barrera de frecuencia” que limita la densidad de potencia alcanzable. Los convertidores de frecuencia variable superan la barrera de frecuencia conmutando en el paso a conducción y a corte cuando la corriente es igual a cero. Estos convertidores trabajan con frecuencias superiores a 1 MHz y pueden alcanzar densidades de potencia mayores que los convertidores de baja frecuencia.

Una segunda diferencia relevante entre los convertidores CC/CC de frecuencia fija y variable es el ruido —una vez más, un parámetro importante para los VE/VH— generado por el interruptor. La conmutación dura del PWM genera más ruido que la conmutación suave del ZCS.

A día de hoy, la principal aplicación del convertidor CC/CC en VE/VH parece ser la conversión de una elevada tensión de la batería a la tensión del coche que suele ser de 12 V, si bien es posible que se necesiten mayores tensiones, como por ejemplo 42 V para la servodirección. Los convertidores CC/CC —generalmente a medida— que se utilizan en esta aplicación suelen tener entradas de 250 – 450 V, salidas de 13, 24 y 28 V, y potencias de salida de 250 W a 3,5 kW. Los tamaños y pesos de los convertidores CC/CC disponibles varían notablemente, dependiendo de la frecuencia de trabajo pero también en cierta medida de las tensiones de entrada y salida y de la potencia.



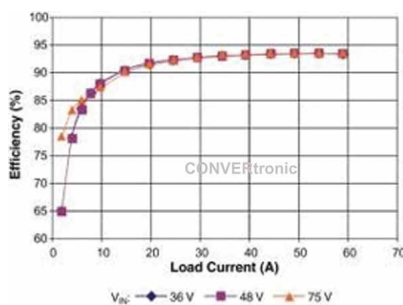
Con las topologías convencionales las eficiencias se sitúan entre 80-90%, pero las bajas eficiencias probablemente son unos cuatro o cinco puntos porcentuales más bajas. Como resultado de ello, para los productos CA/CC y algunos CC/CC de amplio rango se deben revisar a la baja sus especificaciones para baja frecuencia.

La conversión de alta tensión/alta potencia en los vehículos se encuentra en una fase temprana. Quedan muchos retos de tipo técnico y económico por resolver en las aplicaciones de VE y VH. Entre los retos de tipo técnico para un convertidor de este tipo —muchos de ellos interrelacionados— están el tamaño, peso, eficiencia, compatibilidad electromagnética/interferencia electromagnética (EMC/EMI), fiabilidad, aislamiento de alta tensión, eliminación del calor/gestión térmica y coste. Y además, desde luego, unas prestaciones fiables en los entornos de calor, frío, choques y vibraciones propios de un vehículo de carretera se dan por hecho.

### Tecnologías avanzadas

Los convertidores CC/CC para los futuros VE y VH requieren elevados niveles de densidad de potencia, eficiencia y escalabilidad que no pueden cubrir de forma económica los diseños de convertidores voluminosos a baja frecuencia. Si bien un convertidor CC/CC de 2 kW podría ser un objetivo común de diseño, los vehículos de gama alta necesitan más potencia, mientras que los convertidores CC/CC más pequeños y con potencias más bajas ofrecerían un coste más bajo para los VE y VH de gama baja. Para cubrir esta amplitud de necesidades de potencia, una metodología de sistema de potencia flexible y escalable con convertidores modulares y con una elevada densidad de potencia, capaces de ofrecer una conversión eficiente de bus, aislamiento y regulación de tensión, permitirá alcanzar unas mayores prestaciones y un plazo de comercialización más rápido, todo ello de forma económica.

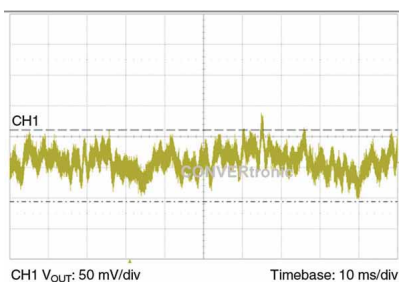
Estas avanzadas tecnologías están disponibles o lo estarán pronto. Estos núcleos de conversión de potencia pueden ofrecer una distribución eficiente de la alimentación de alta tensión en el interior de los vehículos y proporcionan ventajas fundamentales al diseñador del sistema de alimentación, entre ellas un tamaño reducido, bajo peso, alta densidad de potencia, alta eficiencia, flexibilidad de diseño y respuesta rápida a las cambiantes demandas eléctricas. En concreto, entre las nuevas tecnologías de conversión de potencia —en forma de motores de conversión de potencia CC/CC— que prometen soluciones avanzadas para los vehículos VE/VH se encuentran:



1. Convertidores CC/CC con conmutación a tensión cero (Zero-Voltage Switching, DC/ZVS) con una eficiencia del 95% y una densidad de potencia de 1 kW/pulgada cúbica;
2. Reguladores reductores-elevadores (Buck-Boost) ZVS con una eficiencia > 97% a 1 kW/pulgada cúbica; y
3. Convertidores de bus de alta tensión con convertidor de amplitud de seno (Sine Amplitude Converter™ High Voltage, SAC HV) con una eficiencia del 97% a 1 kW/ pulgada cúbica.

Convertidores CC/CC DC/ZVS. Los convertidores de conmutación a tensión cero con doble fijación (DC/ZVS, Figura 1) tienen la capacidad de suministrar una salida regulada desde un rango muy amplio de entrada. Los sistemas de alimentación de célula adaptativa incluyen múltiples convertidores configurados en matriz para ofrecer una potencia con un amplio rango, alta tensión y alta frecuencia. Un bloque convertidor utiliza generalmente dos células de convertidor con acoplamiento magnético que han sido configuradas de forma selectiva en serie o en paralelo. En ambas configuraciones, el ruido en modo común está prácticamente cancelado, eliminando así la dificultad que conllevaría un considerable filtrado para los VE y VH.

Entre las topologías de célula adaptativa que integran los convertidores CC/CC DC/ZVS para las prestaciones del convertidor CC/CC en VE/VH se pueden encontrar las células con Convertidor de Amplitud de Seno (Sine Amplitude Converter, SAC, Figura 2). Los núcleos del SAC utilizan conmutación a tensión cero/corriente cero para eliminar las pérdidas en conmutación. Al eliminar esas pérdidas, el SAC puede trabajar de manera eficiente a frecuencias relativamente elevadas, generalmente del orden de MHz, lo cual da como resultado un tamaño más pequeño del producto. La alta frecuencia de trabajo permite miniaturizar muchos componentes, incrementando así la densidad de potencia del convertidor. Los convertidores de conmutación suave que trabajan a alta frecuencia también minimizan la interferencia electromagnética (EMI) y los componentes de filtrado exigidos por los convertidores de conmutación dura que trabajan a baja frecuencia. El núcleo del SAC se emplea generalmente para proporcionar conversión de bus con una proporción de tensión fija y aislamiento de alta tensión. El núcleo del DC-ZVS ofrece conversión CC/CC con regulación y aislamiento. Las Figuras 3 y 4 muestran la eficiencia y el rizado de salida de los convertidores DC/ZVS configurados en una matriz de varios kW.



Reguladores Reductores-Elevadores (Buck-Boost) ZVS. Los reguladores reductores-elevadores ZVS ofrecen una salida regulada a partir de una fuente de entrada no regulada. Los reguladores reductores-elevadores ZVS se pueden utilizar de forma autónoma, como reguladores de tensión no aislados, o combinados con multiplicadores de corriente SAC para crear convertidores CC/CC aislados. El regulador se puede “factorizar” a partir de los multiplicadores de corriente SAC para obtener una mayor densidad en el punto de carga así como para ofrecer una distribución eficiente de la potencia y ahorrar en el peso y el coste del

conductor. Al combinarlos, estos núcleos permiten disponer de sistemas convertidores CC/CC con niveles notablemente superiores de densidad, flexibilidad y eficiencia que los convertidores convencionales.

Entre las prestaciones del regulador reductor-elevador (buck-boost) ZVS se pueden citar:

- Tensiones de entrada y salida hasta 650 VCC.
- Rango de tensión de entrada hasta 5:1.
- Factor de reducción/elevación de tensión hasta 5:1.
- Eficiencia de la conversión hasta 98%.
- Escalable desde centenares de vatios hasta kilovatios.

Una topología exclusiva de conmutación suave y la arquitectura de control ZVS permiten un funcionamiento eficiente a alta tensión a 1 MHz. Los reguladores se pueden colocar en paralelo para obtener una mayor potencia de salida. Una característica de la arquitectura de control del regulador es que la secuencia de conmutación no cambia en modo reductor (buck) o elevador (boost); sólo se controla la duración relativa de las fases dentro de cada ciclo de funcionamiento para aumentar o disminuir la tensión.

Convertidores de bus SAC HV. Los convertidores de factor fijo, entre ellos el convertidor de bus SAC HV, son capaces de realizar una conversión eficiente de bus a alta tensión. Éstas son sus principales prestaciones:

- Tensiones de entrada y salida hasta 650 VCC.
- Rango de tensión de entrada hasta 5:1.
- Multiplicación de corriente hasta 200X.
- Eficiencia de conversión hasta 98%.
- Escalable desde centenares de vatios hasta kilovatios.

Las topologías ZVS-ZCS SAC con una etapa de potencia de baja Q ofrecen un eficiente proceso de potencia a alta frecuencia con un oscilador de frecuencia fija que tiene una elevada pureza espectral y simetría en modo común, dando como resultado un funcionamiento prácticamente libre de ruido. La arquitectura de control bloquea la frecuencia de trabajo a la frecuencia resonante de la transmisión de potencia, optimizando así la eficiencia y minimizando la impedancia de salida. Mediante la cancelación efectiva de los componentes reactivos, la impedancia de salida,  $Z_{out}$ , puede ser relativamente baja. Para reducir aún más  $Z_{out}$ , o para una mayor capacidad de potencia, los convertidores de bus se pueden colocar en paralelo compartiendo la corriente de forma precisa. Los convertidores de bus SAC, silenciosos y potentes, proporcionan una conversión de tensión/corriente fundamentalmente lineal con una impedancia de salida plana hasta aproximadamente 1 MHz.

Al combinarlas, estas tecnologías de potencia prometen unas soluciones superiores a los retos de tipo técnico asociados a los VE y VH, como su pequeño tamaño, bajo peso, muy alta eficiencia, bajo nivel de EMI aislamiento de alta tensión, gestión térmica, modularidad, flexibilidad de diseño, escalabilidad y coste. Se pueden colocar fácilmente en paralelo para configurar matrices de alta potencia tolerantes a fallos.

Keith Nardone, Director de Desarrollo del Negocio; y Tom Curatolo, Director de Ingeniería de Aplicaciones. Vicor Corporation

[Más información o presupuesto](#)