

Convertidor e inversor: electrónica básica de los vehículos eléctricos



Los inversores y los convertidores son dispositivos (módulos de circuitos electrónicos) distintos e independientes, pero se pueden combinar con el fin de operar en la administración de energía, ya sea para accionar las ruedas, ya sea para recargar las baterías de los vehículos eléctricos.

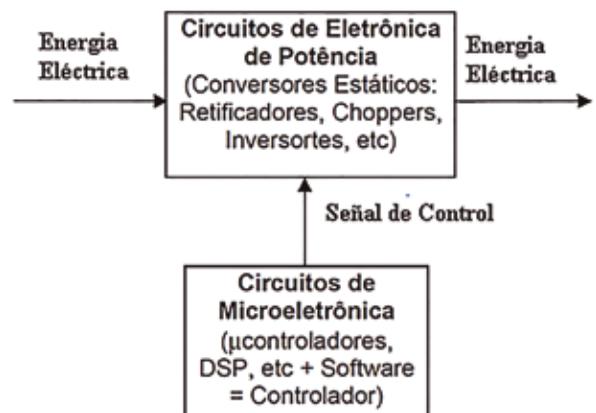
Ambos dispositivos están basados en una arquitectura definida en dos bloques:

- » Bloque de circuito principal (electrónica de potencia).
- » Bloque del circuito de control (microelectrónica aplicada).

Los circuitos principales de los elementos mencionados están dotados de ciertos arreglos específicos, y tienen en común el agregado de componentes de electrónica de potencia (inte-



Ricardo Berizzo
Cátedra Movilidad Eléctrica
UTN Rosario
rberizzo@gmail.com



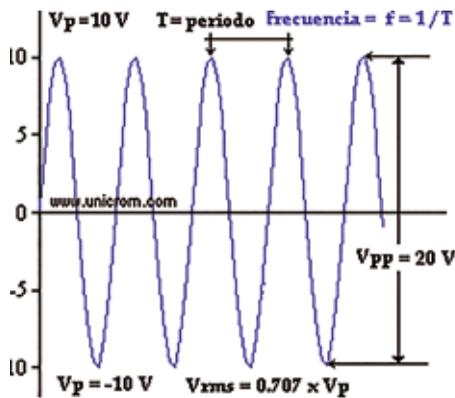
Arquitectura definida de convertidores e inversores

ruptores estáticos), gracias a los cuales pueden administrar corrientes eléctricas de valor elevado. En el ámbito de los sistemas que constituyen un vehículo eléctrico, los inversores y los conversores, como se verá más adelante, pueden trabajar individualmente o en conjunto.

El inversor

En principio, un inversor es un dispositivo que convierte la energía eléctrica proveniente de una fuente de corriente continua en corriente alterna, de modo tal que pueda usarse para accionar un dispositivo de corriente alterna, por ejemplo, un motor eléctrico de corriente alterna.

Al contrario de la energía eléctrica en corriente continua, que se caracteriza por una polaridad definida y constante, la corriente alterna se caracteriza por alternar sucesivamente la polaridad a lo largo del tiempo.



Ejemplo de corriente alterna



Ejemplo de corriente continua

La cantidad de veces que alterna la polaridad de la energía eléctrica en corriente alterna en una unidad de tiempo se denomina "frecuencia". Por ejemplo, que la frecuencia de red en nuestro país sea de 50 Hz significa que la polaridad cambia 50 veces por segundo. De este modo, un motor eléctrico alimentado por energía eléctrica en corriente alterna de frecuencia fija tendrá una velocidad fija. Entonces, un inversor de un vehículo eléctrico entregará al motor (de alto rendimiento y desempeño) una corriente alterna de frecuencia variable en función del accionamiento del pedal de aceleración del auto, de modo que pueda variar la velocidad. De tal manera, por entregar la dosis correcta de energía a una determinada frecuencia, el inversor controla tanto el torque como la velocidad del motor eléctrico y, por consiguiente, determina el comportamiento de conducción.

Independientemente de que el motor empleado en un vehículo eléctrico sea del tipo corriente alterna, asíncrono o síncrono, o corriente continua sin escobillas, el inversor funcionará de manera semejante: recibirá en su entrada una alimentación de corriente continua a partir del banco de baterías, entregando un sistema trifásico al motor.

El inversor acciona el motor eléctrico, pero si el vehículo está frenando deja de entregar energía y, en consecuencia, deja de accionar el motor. En ese momento, ocurre que la energía cinética, proveniente del movimiento inercial sobre las ruedas, fuerza el motor a girar, y entonces este se comporta como un generador de energía eléctrica.

Es por lo dicho que, técnicamente, el término "motor" no es el más adecuado para referirse a este equipamiento. En rigor, se debería denominar "máquina eléctrica". De modo que esta máquina eléctrica se comporta como motor cuando está operando en modo de tracción, pero cuando se comporta como generador es arrastrada por el sistema mecánico en el frenado.

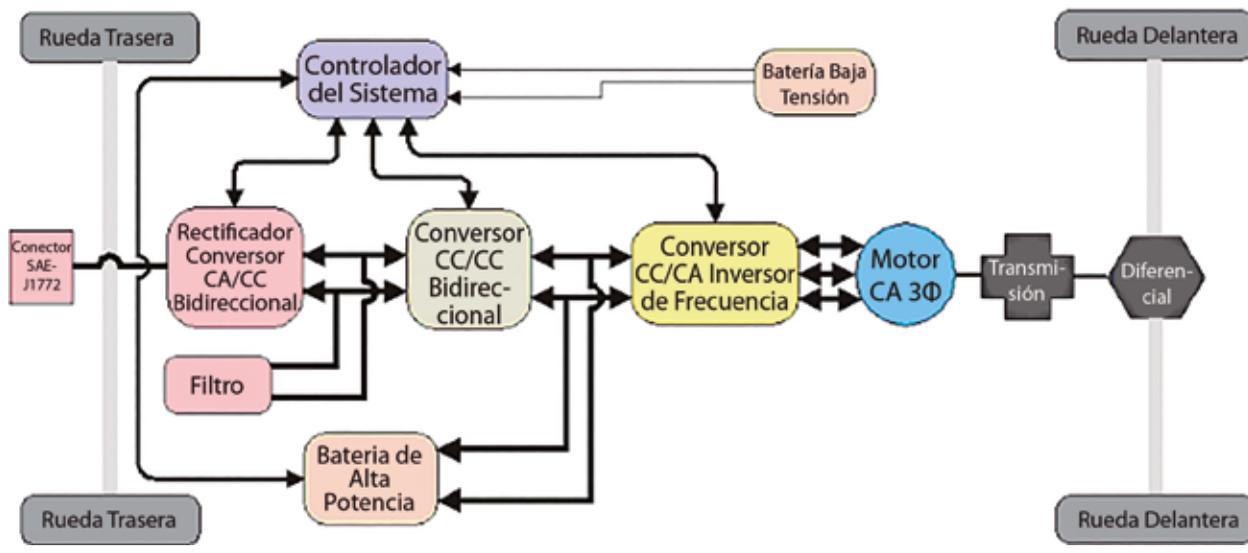


Diagrama de comportamiento de una máquina eléctrica

Cuando se acciona el pedal de freno de un vehículo eléctrico, la máquina eléctrica se comporta como generador y, por medio del inversor, se puede transferir la energía generada al banco de baterías. El inversor es un dispositivo bidireccional.

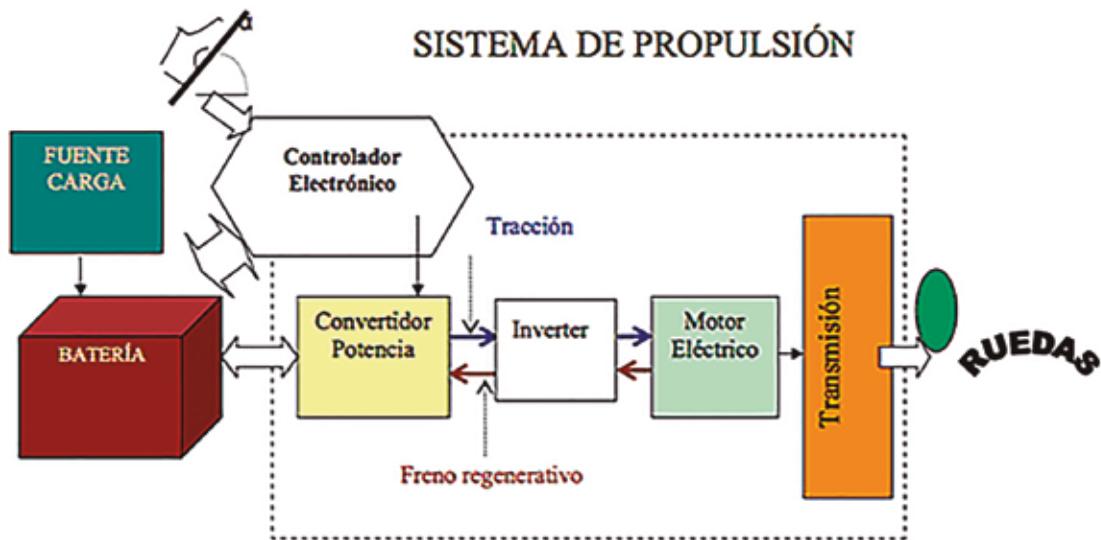
Cuando se acciona el pedal de freno de un vehículo eléctrico, la máquina eléctrica se comporta como generador y, por medio del inversor, se puede transferir la energía generada al banco de baterías. Entonces, de hecho, el inversor es un dispositivo bidireccional. Este proceso se llama "frenado regenerativo", y permite incrementar la carga del banco de baterías.

Un vehículo eléctrico también cuenta con frenos mecánicos, los cuales actúan sobre las ruedas, en general, con frenos a disco y sistema ABS. En ese caso, el par frenante que resulta de la operación de la máquina eléctrica en modo generador se suma al frenado mecánico para completar la detención del móvil. De esta forma, se desgasta menos el sistema mecánico de frenado y se gana más energía, tal como se dijo anteriormente.

Como resultado, la autonomía del vehículo está directamente relacionada con la buena eficiencia de su inversor, tanto cuando la máquina opera en modo de tracción, como cuando opera en modo de frenado regenerativo.

A pesar de que las partes de un inversor están sobre una misma placa y encapsuladas de manera tal que todos los circuitos electrónicos quedan protegidos y refrigerados, el inversor comporta básicamente dos bloques:

- » Bloque principal (de electrónica de potencia). Contiene un arreglo de elementos interruptores (interruptores estáticos) que son los responsables de ejecutar la conversión de corriente continua a alterna (en modo de tracción) y viceversa (en modo frenado), transportando corrientes eléctricas de valores elevados, del orden de los 200 a 300 A, y aún más dependiendo del tipo de vehículo eléctrico.
- » Bloque controlador (de microelectrónica). Está montado sobre una placa de circuito impreso integrada, dotada de un microcontrolador (en general, de 16 o 32 bits) que comanda el bloque de potencia a fin de minimizar las pérdidas de conmutación y maximizar la eficiencia térmica.



Componentes del vehículo eléctrico. (Fuente: INSIA)

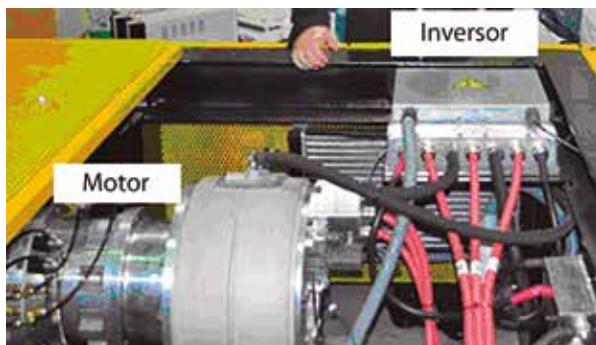
La autonomía del vehículo está directamente relacionada con la buena eficiencia de su inverter, tanto cuando la máquina opera en modo de tracción, como cuando opera en modo de frenado regenerativo.

Según la potencia que maneje el inverter, el bloque principal (de conmutación) precisa refrigeración con agua. Debido a la corriente elevada que maneja, las pérdidas se convierten en calor que se transmite a todos los circuitos, y por eso es necesario no sobrepasar los valores de temperatura.

A las tareas propias del control del inverter, se suman las funciones de protección:

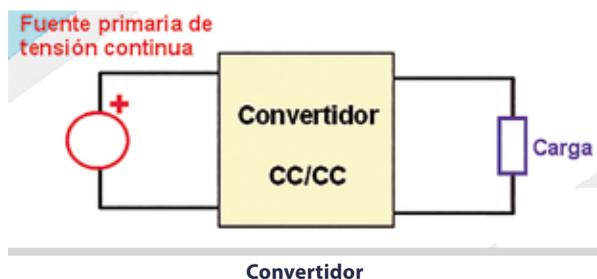
- » Protección del propio inverter contra sobretensiones y sobretemperatura.
- » Protección del motor contra sobrecarga y sobrecalentamiento.
- » Protección del banco de baterías contra sobrecargas de tracción durante la aceleración y contra sobretensión durante la regeneración.

Además de señalar fallas, almacenar parámetros variables en su memoria no volátil, permite hacer diagramas de tiempo de señales internas y variar funciones útiles de menor relevancia.



El convertidor (cargador del banco de baterías)

Más apropiadamente llamado "convertidor de tensión" o "convertidor CC/CC (corriente continua/corriente continua)", el convertidor es un dispositivo que modifica los parámetros eléctricos de una fuente de energía, ya sea para elevarla, ya sea para reducirla.



Los conversores CC/CC se aplican allí donde la alimentación disponible es corriente continua proveniente, por ejemplo, de un rectificador sin control, dotado apenas de diodos, o de un banco de baterías de tensión fija, cuya carga necesita tensión continua regulada que sea diferente de la que proviene de la fuente, o una tensión continua que posea un valor medio variable.

La manera más eficiente y simple de manejar valores elevados de potencia de corriente continua es también mediante un arreglo de interruptores estáticos.

Semejante a lo que ocurre en el bloque principal (electrónica de potencia) del inversor, la manera más eficiente y simple de manejar valores elevados de potencia de corriente continua es también mediante un arreglo de interruptores estáticos. Entonces, se dice que los elementos

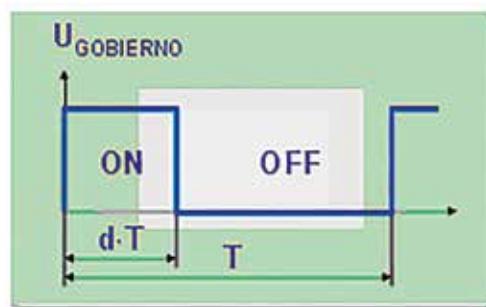
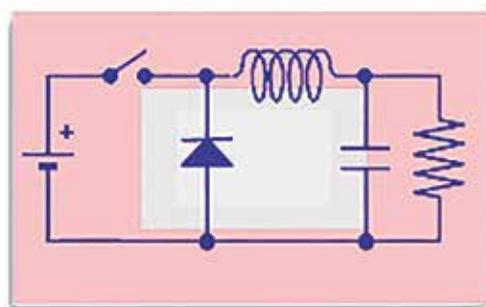
constituyentes de ese arreglo operan “en conmutación”.

La tensión fija de corriente continua se puede convertir en una tensión continua variable o regulada a través de las técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés), lo que produce pulsos que comandarán los elementos de interrupción. Este método genera pérdidas mínimas de energía en los procesos de conversión, lo cual ocurre porque, cuando operan en modo conmutación, los interruptores estáticos presentan dos estados posibles:

- » **Conducción.** La corriente que fluye por el semiconductor (interruptor) es grande, por lo tanto la tensión sobre él es nula, lo cual implica que la potencia disipada (pérdidas) por el interruptor sea nula.
- » **Bloqueo.** La tensión que se presenta sobre los terminales del interruptor es de valor considerable y la corriente es nula, lo cual implica que la potencia disipada (pérdidas) sea nula.

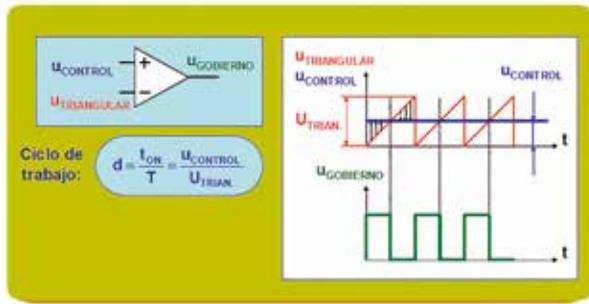
Lo dicho hasta ahora es una consideración ideal. En la práctica, los interruptores estáticos no alcanzan tal perfección y las pérdidas se manifiestan como calor.

Obviamente, este tipo de regulación no es continua, sino pulsada. La frecuencia de los pulsos utilizados para la conmutación de los interruptores es muy alta, de lo que resultan “periodos de conmutación” bastante breves.



Objetivos del circuito de control

- a) Generar la señal de control y gobierno del interruptor.
- b) Regular la tensión de salida en el valor deseado.

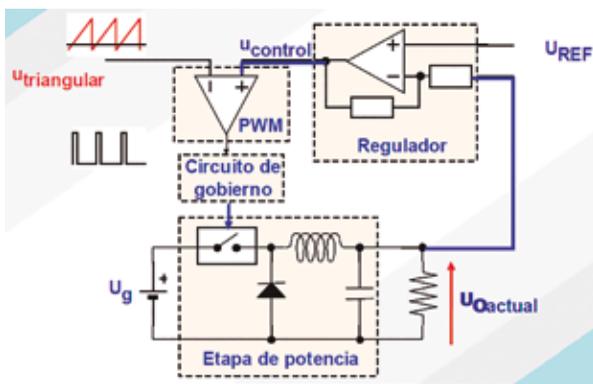


Estructura básica: modificador de ancho de pulso

Dado que los elementos que reciben la energía que proviene de los convertidores, denominados "carga" (como motores y baterías), presentan una "constante de tiempo" grande, la propia carga termina actuando como filtro y extrae de la tensión instantánea el valor medio, que es prácticamente constante.

Tanto los motores como las baterías son dispositivos que almacenan energía. Los motores lo hacen en el campo magnético que se produce en sus arrollamientos (bobinas) por el paso de una corriente eléctrica.

Tanto los motores como las baterías son dispositivos que almacenan energía. Los motores lo ha-



Estructura básica: modificador de ancho de pulso

cen en el campo magnético que se produce en sus arrollamientos (bobinas) por el paso de una corriente eléctrica, mientras que las baterías almacenan energía en todo su sistema constitutivo a través de un campo eléctrico.

Las constantes de tiempo son inherentes a los procesos de carga/descarga de esas energías en los dispositivos de almacenamiento.

Existen algunos tipos de convertidores de tensión diferentes, entre los cuales hay tres que son más comunes:

- » Convertor que disminuye la tensión, convertor "back" ("step-down").
- » Convertor que eleva la tensión, convertor "boost" ("step-up").
- » Convertor combinado que reduce/eleva, convertor "back-boost".

La aplicación más común de un convertidor de tensión es tomar una tensión de una fuente de tensión relativamente baja, y elevarla para un trabajo pesado de carga, con un consumo elevado de energía. También se puede dar el caso de ser bidireccional, es decir, que se utiliza también en el sentido inverso, para reducir la tensión. En este último caso, los convertidores utilizados en los vehículos eléctricos son del tipo bidireccional.

A pesar de los esfuerzos que se realizan para uniformar la tensión nominal de las baterías de los vehículos, el hecho es que las mismas se fabrican para un móvil específico, o sea, el valor de la tensión nominal del banco de baterías variará de acuerdo a la forma de interconexión entre las celdas de las baterías de cada módulo, entre los módulos mismos, etc.

En tanto, las experiencias de las empresas envueltas en la producción de vehículos han revelado que el nivel de tensión nominal adoptado para las baterías afecta el rendimiento de los vehículos, y por eso se tiende, poco a poco, a baterías de valor nominal estandarizado.

Las experiencias de las empresas envueltas en la producción de vehículos han revelado que el nivel de tensión nominal adoptado para las baterías afecta el rendimiento de los vehículos.

En general, las celdas de ion-litio que componen los módulos prismáticos de las baterías presentan una tensión de 3,6 a 3,8 V, y se tiende a generalizar los bancos de baterías con una tensión nominal total de 340 a 400 V.

También generalizando, los motores de corriente alterna empleados operan con tensiones nominales mayores, algunos en la banda de 400 a 650 V. Por otro lado, a fin de permitir la recarga de las baterías a partir de las instalaciones eléctricas residenciales, es preciso considerar un nivel mayor de tensión (no menor a 220/240 nominales).

La bidireccionalidad del convertidor, sumada a la bidireccionalidad del inversor, permite el frenado regenerativo que conduce a realimentar el banco de baterías, e inclusive otras operaciones interesantes como la posibilidad de devolver energía eléctrica a la red domiciliar del sistema eléctrico público.

Los cargadores deberán minimizar su impacto sobre la calidad de la energía, consumiendo corriente con un alto factor de potencia, de manera que aprovechen al máximo la energía tomada de

la red del sistema eléctrico. Eso es posible a través del empleo de topologías de corrección del factor de potencia activa, en los convertidores CC/CC Boost, que aumentan la tensión entregada por el rectificador del cargador embarcado.

La bidireccionalidad del convertidor, sumada a la bidireccionalidad del inversor, permite el frenado regenerativo que conduce a realimentar el banco de baterías.

En todos los casos de convertidores e inversores, la ventilación/refrigeración adecuada es fundamental para mantener los componentes operando. Estos deben poseer su propio sistema de enfriamiento (bombas y radiadores), que será totalmente independiente del sistema de refrigeración de la máquina eléctrica. ■

