

Electric Vehicle Battery Charger with Regenerative Braking and Photovoltaic Supply

Electric Vehicle Battery Charger with Regenerative Braking and Photovoltaic Supply

Johan S. Sanchez



Cómo citar: Zuluaga-García C. y Narvaez-Caballero N. (2020). Un atuendo llamado wale'kerü tejido entre el saber y el color, *Ignis* (14), 64-75



Resumen

Considerando el aumento del uso de vehículos eléctricos alrededor del mundo y los problemas que sus baterías presentan, este documento presenta el diseño y simulación de un dispositivo que permite el uso de la energía entregada por el motor eléctrico durante el proceso de frenado. Además, para incrementar la autonomía del vehículo se ubica un PV sobre el chasis para así suministrar energía al motor o a las baterías. El dispositivo que captura y entrega esta energía es un convertidor DC-DC bidireccional ubicado entre el motor y la batería, el cual se encuentra conectado en paralelo con un convertidor Boost que opera como un seguidor del punto de máxima potencia para aprovechar eficientemente la energía entregada por el PV. Los resultados de simulación muestran que la energía entregada por el motor el PV y las baterías puede ser usada de buena manera y de esta forma aumentar la eficiencia del vehículo.

Palabras clave

Cargador de batería, conversor direccional DC, vehículo eléctrico, frenado regenerativo, generación solar.

Abstract

Considering the increasing use of electric vehicles around the world and the problems that their batteries present, this paper presents the design and simulation of a device that allows the use of the energy delivered by the electric motor during the braking process. In addition, to increase the autonomy of the vehicle, a PV is located on the chassis to supply energy to the engine or batteries. The device that captures and delivers this energy is a bidirectional DC-DC converter located between the motor and the battery, which is connected in parallel with a Boost converter that operates as a follower of the maximum power point to efficiently take advantage of the energy delivered by the PV. The simulation results show that the energy delivered by the engine, PV and batteries can be used in a good way and thus increase the efficiency of the vehicle.

Keywords

Battery charger, bidirectional DC converter, electric vehicles, regenerative braking, solar generation.

Introducción

El sector del transporte es uno de los principales consumidores de energía en la mayoría de los sistemas energéticos, y una gran parte de la demanda de energía está vinculada a vehículos personales (Krzysztof , Hrvoje, Neven & Rodrigo, 2016). Por esta razón y como se propone en (Novosel, y otros, 2015), para facilitar una mayor eficiencia energética se debe llevar a cabo un cambio modal de los motores de combustión interna convencionales a vehículos eléctricos (VE). Este cambio tiene el potencial de reducir considerablemente la demanda total de energía del sector del transporte y las correspondientes emisiones de CO₂. En consecuencia, los vehículos eléctricos son una solución atractiva para la movilidad urbana, los problemas medioambientales y la dependencia del petróleo. Por esta razón, se están llevando a cabo numerosas investigaciones para mejorar sus características (Hassan, Vafamand, Niknam, Dragicevic, & Blaabjerg, Model-predictive control based on Takagi-Sugeno fuzzy model for electrical vehicles delayed model, 2017), (Hassan, Vafamand, & Niknam, vT-S fuzzy model predictive speed control of electrical vehicles, 2016), (Wang, Xu, Cao, & Ning, 2017), (Sang-Keun & Jin-O, 2017). Sin embargo, persisten algunos desafíos que impiden una mayor penetración de los VE en el mercado automotriz (LI, Long, Chen, & Geng, 2017). Uno de los principales desafíos en los VE es su autonomía debido a la capacidad limitada de las baterías (Wang, Hong, Lui, & Zhang, 2017). Para abordar este problema, alternativas como el frenado regenerativo resultan ser una solución atractiva (LI, y otros, 2016), ya que esta técnica consiste en recapturar la energía suministrada por el motor cuando se está frenando. Lo anterior se logra a través de un convertidor DC-DC bidireccional que permite a los vehículos eléctricos aprovechar la energía entregada por el motor.

Otra razón para aunar esfuerzos en los desarrollos que involucren EV es que algunos estudios han predicho que una de las principales características de los futuros sistemas energéticos es el uso de redes inteligentes, fuentes de energía renovable y vehículos eléctricos, tal y como se afirma en (da Graça Carvalho, Bonifacio & Dechamps, 2011). Adicionalmente, el mercado de la energía fotovoltaica (PV) ha experimentado un aumento en los últimos años debido al aumento de la eficiencia de las células fotovoltaicas, lo cual ha sido posible gracias a una mejor comprensión de las propiedades de los materiales (Pietzcker, Stetter, Manger, & Luderer, 2014). En consecuencia, la incorporación de un panel solar en la carrocería del vehículo eléctrico de manera que proporcione energía a la batería o al motor eléctrico es otra alternativa atractiva para aumentar la autonomía del vehículo eléctrico y disminuir el consumo de energía de la red eléctrica, además de evitar así problemas de calidad y estabilidad en la energía (Peng, Liu, & Jiang, 2012).

Existen numerosos estudios sobre la idea de incorporar paneles solares fotovoltaicos en la carrocería de VE, aunque muchos de ellos se centran en el desarrollo de estaciones de carga, tal y como se evidencia en (Chaudhari, Ukil, Nandha , Manandhar, & Kumar, 2017), (Chen, Liu, Hu, Wang, & Zhang, 2017), (Zhang, Yang, & Kezunovic, 2017), (Hernandez, Sutil, & Vidal, 2016). Adicionalmente, la mayoría de estos trabajos desarrollan esquemas en los que la red eléctrica, los paneles solares fotovoltaicos, las baterías y los vehículos eléctricos se integran en una sola estación de carga para colaborar y optimizar la energía eléctrica, lo que podría generar beneficios económicos tal y como se explica en Caruso y otros (2016).

También se están desarrollando cargadores on-board, como el que se muestra en (Reza & Sharifian, 2015) en los que se desarrolla un convertidor DC-DC bidireccional de 3 entradas y una salida que permite tanto operaciones de carga como descarga. Sin embargo, la topología propuesta tiene varios elementos, lo que aumenta su complejidad de control y al mismo tiempo disminuye su eficiencia. Además, esta topología no puede extraer la máxima potencia disponible en el sistema fotovoltaico. Otros estudios (Khoucha, Benrabah, Herizi, Kheloui, & Benbouzid, 2013) sugieren el uso de un convertidor

elevador entrelazado conectado entre PV y bus de CC mientras se utiliza un convertidor CC-CA para alimentar el motor de CA. Aunque el dispositivo desarrollado incluye una estrategia de seguimiento del punto de máxima potencia que permite extraer toda la energía del sistema fotovoltaico, cuenta con una etapa DC-AC adicional que lo hace ineficiente y pesado.

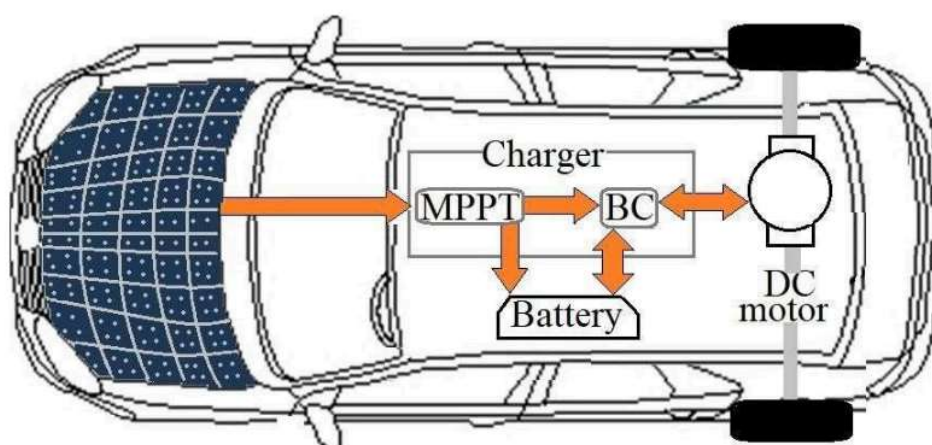
El objetivo de este documento es desarrollar un sistema de energía eficiente que combine el uso de paneles solares (PV) y baterías con el propósito de suministrar energía eléctrica al motor. Además, este sistema también es capaz de utilizar la energía producida por el motor mediante frenado regenerativo para almacenarla en la batería. Se espera que todo esto pueda aumentar la autonomía del EV y, en consecuencia, el EV pueda ser utilizado durante un período de tiempo más prolongado.

Este artículo muestra el proceso de diseño y simulación del dispositivo mencionado, y permite el flujo de energía bidireccional entre el motor y la batería, así como desde el panel solar hacia el motor. El sistema de energía está compuesto por un convertidor DC buck-boost bidireccional puesto entre la batería y el motor, y un convertidor DC boost ubicado entre el panel solar y el motor, cuyos resultados de simulación son mostrados y discutidos al final de este documento.

Principio de operación

El cargador de baterías propuesto conecta el panel solar (PV), ubicado en el chasis del vehículo, al motor DC y a la batería. Este cargador mantiene el equilibrio de energía entre cada uno de estos elementos, haciendo un uso eficiente e inteligente de la energía en el vehículo eléctrico (VE). El diagrama de bloques del cargador de batería y el flujo de energía se muestran en la figura 1. La primera etapa extrae la energía máxima del PV hacia el convertidor DC bidireccional y decide si entregar la energía a la batería o al motor. La segunda etapa es un convertidor DC-DC bidireccional (BC) que permite el flujo de energía bidireccional entre el motor DC y la batería. La dirección del flujo de energía depende de si el motor necesita energía o está frenando.

Figura 1. Diagrama de bloques del cargador de baterías y el flujo de energía



Fuente: El autor

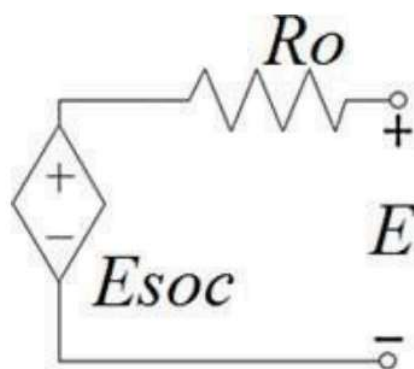
Modelamiento

Para implementar el control de este cargador se desarrolla el modelo matemático de la batería, el panel solar (PV), el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y el convertidor bidireccional.

3.1 [T2] Modelo de batería

En la literatura existen varios modelos de baterías, algunos de los cuales relacionan la tensión de la batería, la temperatura y el estado de carga (SOC por sus siglas en inglés). En este trabajo se utiliza el modelo mostrado en la figura 2, el cual proporciona la tensión de salida de la batería en función del SOC manteniendo su simplicidad.

Figura 2. Circuito del modelo de batería



Fuente: El autor

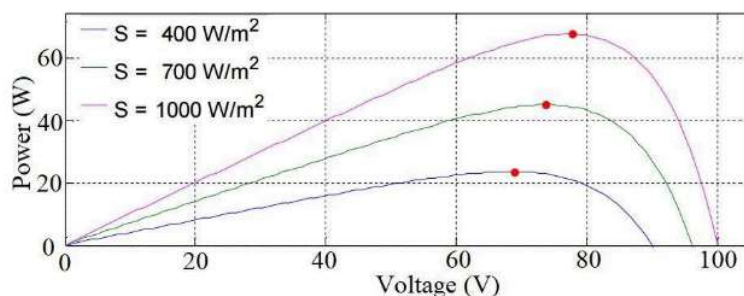
3.2 [T2] Modelo PV

El panel solar (PV) está compuesto por varias células solares conectadas en paralelo y en serie, lo cual puede ser modelado como una fuente de corriente en paralelo con un diodo y una resistencia en serie R_s . Aclarando que se desprecia la resistencia de derivación. Por otra parte, la fuente de corriente depende de la irradiancia en la superficie del PV y se describe mediante la ecuación (1), donde I_0 es la corriente de saturación en oscuridad, q es la carga del electrón, k es la constante de Boltzmann, T es la temperatura absoluta, I_{sc} es la corriente de cortocircuito, y N_p y N_s son el número de células en paralelo y en serie, respectivamente. Lo anterior siguiendo el modelamiento hecho en (Lasheen, Kamel, Rahman, Abdel-Salam, & Ookawara, 2017).

$$I = N_p I_{sc} - \underline{N_p I_0} (e^{\frac{q(V-IR_s)}{AkTN_s}} - 1)$$

La temperatura y la irradiancia afectan la tensión y la corriente del PV, por lo tanto, la curva I-V del PV cambia varias veces durante el día y su punto de máxima potencia se desplaza de una manera similar a como se ilustra en la figura 3, en la que se muestra la curva P-V de un PV típico a 25° para diferentes valores de irradiancia.

Figura 3. Curva de potencia vs. voltaje de un sistema fotovoltaico típico con diferentes valores de irradiancia



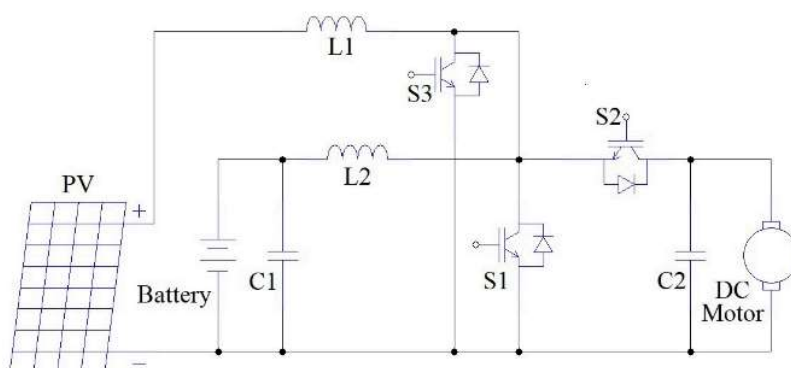
Fuente: El autor

3.3 [T2] Modelo conversor

El cargador propuesto consta de dos etapas: la primera etapa debe ser capaz de dirigir la energía entre el puerto motor-PV y el puerto de la batería. Además, esta etapa debe regular tanto la tensión de la batería como la del motor, de modo que cuide la vida útil de la batería y mantenga constante la velocidad del vehículo eléctrico (VE). En cuanto a la segunda etapa, debe extraer toda la energía posible del PV, es decir, funciona como un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT). Además, este cargador debe tener el menor número posible de elementos para garantizar un alto nivel de eficiencia.

Teniendo en cuenta los requisitos operativos del dispositivo mencionados anteriormente, se seleccionan las topologías Buck-boost y boost como la primera y segunda etapa respectivamente. La figura 4 muestra la conexión de estas topologías y los otros elementos que forman parte del sistema.

Figura 4. Topología del convertidor del cargador propuesto



Fuente: El autor

Convertidor DC/DC bidireccional. El modelo conmutado del convertidor se desarrolla utilizando la figura 4 y evaluando el estado de cada interruptor. Posteriormente, se encuentran los puntos de equilibrio y se linealiza el modelo conmutado alrededor de estos puntos de equilibrio, obteniendo el modelo de señal pequeña descrito por la ecuación (2).