

# **Sistema Embebido para el Control de Carga de Baterías en un Vehículo Eléctrico Híbrido ligero (EPISOL)**

**Pedro Cobos Arribas**

Investigador de la Unidad de Sistemas Inteligentes en Vehículos, INSIA, UPM, España  
**Felipe Jiménez Alonso, José María López Martínez, Francisco Javier Sánchez Alejo**  
INSIA. Universidad Politécnica de Madrid. España

## **RESUMEN**

El presente trabajo es resultado de un proyecto para desarrollar un vehículo híbrido con varias fuentes de carga de baterías. Su objetivo es contribuir a reducir las emisiones debidas al tráfico urbano de vehículos, tendencia muy buscada en los últimos años, donde se han acometido importantes proyectos de investigación orientados al desarrollo de sistemas de propulsión y combustibles alternativos a los actualmente mayoritarios. A continuación se describe el sistema embebido de control realizado, en el que un microcontrolador se encarga del ajuste de la carga de las baterías, a partir de las contribuciones de una pila de combustible, unos paneles solares y un generador conectado a un motor de combustión interna, para conseguir el mayor rendimiento energético y lograr unos niveles de emisiones casi nulos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

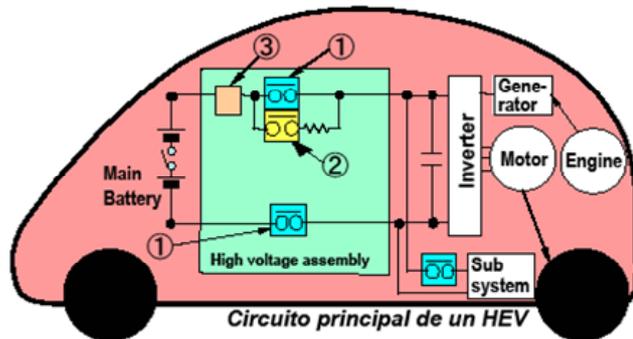
Es bien conocido que existe un gran interés comercial en los Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV en inglés). Las recientes subidas en el precio del combustible y otras razones de índole ecológica, no menos importantes, han motivado este interés. Durante años, los fabricantes de automóviles han estado trabajando en técnicas de propulsión que reduzcan la dependencia del petróleo y que mejoren las emisiones. La cuestión que no está todavía resuelta es cuál será la aceptación del mercado a estas nuevas soluciones y qué cambios se producirán en los componentes electrónicos y mecánicos de los vehículos, dado que se incorporarán formas muy diferentes a las actuales para generar, transformar y almacenar energía.

Los vehículos eléctricos híbridos y los puramente eléctricos continúan siendo la principal alternativa. Como muestra de ello, los investigadores de mercados del automóvil esperan que las ventas de estos vehículos crezcan de forma muy acentuada, del orden de triplicar o cuadruplicar ventas durante los próximos cinco años, a partir de un número menor a un millón de unidades vendidas en 2008, como se expone en Hammerschmidt (2008).

Dependiendo cómo se construyan estos vehículos, algunos bloques electrónicos del automóvil se harán obsoletos, mientras que otras unidades funcionales tendrán que elaborarse.

En este tipo de vehículos, la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento se almacena en baterías, que típicamente trabajan a varios cientos de voltios. Factores muy importantes en este aspecto son la capacidad, peso y precio. Además, de forma diferente a los vehículos

convencionales, estos niveles altos de tensión hacen necesarios componentes electrónicos adicionales, especialmente de potencia. Por ejemplo, tal como muestra la Figura 1, se requieren convertidores AC/DC para producir la tensión de carga de la batería principal. También son necesarios diversos convertidores DC/DC para adaptar las tensiones de los diferentes subsistemas del automóvil, como el sistema actual de 12v, u otros necesarios para los diversos sistemas, por ejemplo el compresor del aire acondicionado, que en un futuro cercano será activado eléctricamente y no de forma mecánica.



**Fig. 1 – Componentes de un HEV**

Los diversos elementos que componen el sistema serán revisados en las siguientes secciones, donde se describirá el vehículo eléctrico híbrido ligero desarrollado (de aquí en adelante EPISOL).

Además del interés comercial, ya mencionado, hay un gran esfuerzo de investigación en este campo, desde estudios exhaustivos sobre estrategias de control, como el realizado en Pisu (2007) y Ferreira (2008), a comparativas entre vehículos y estructuras de control, como las elaboradas por Khaligh (2008), Emadi (2006, 2008), Chan (2007), Solero (2005), Bauman (2008), He (2006) y trabajos sobre el estado de carga de las baterías, como por ejemplo los realizados por Bree. (2009) y Song kim (2008), lo que anima fuertemente a seguir en esta línea de investigación.

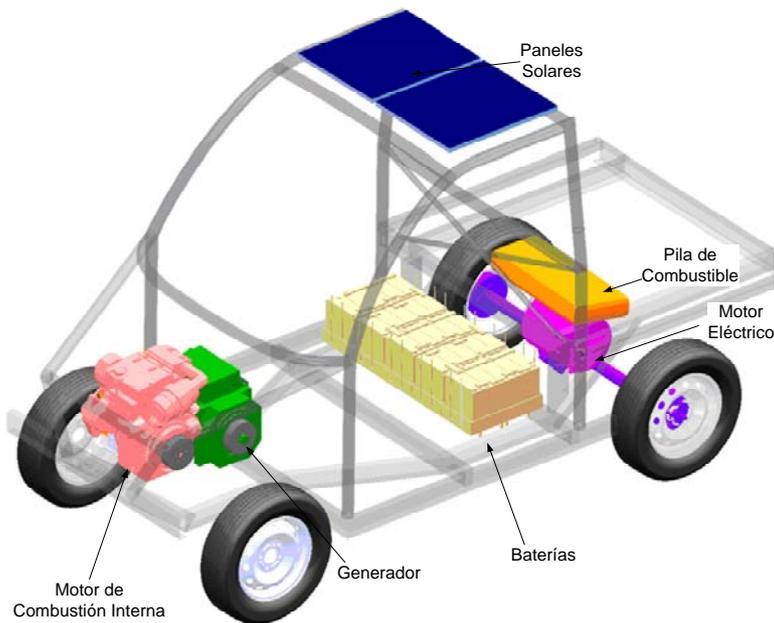
## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

**Episol** es un vehículo híbrido, con un motor Eléctrico, una **pila** de combustible y paneles **solares** como principales fuentes de energía para su funcionamiento, que principalmente es la recolección de pilas gastadas, situadas en contenedores colocados en las paradas de autobús, aunque puede usarse para cualquier operación de transporte urbano.

Todos estos elementos se muestran en la Figura 2. Se incluye un motor de gasolina, para cargar las baterías si éstas llegan a un estado de máxima descarga, pero esta operación es poco frecuente, a fin de evitar emisiones.

Las baterías son el elemento más importante del sistema, por lo que un óptimo control de su estado de carga es crucial para su correcto funcionamiento. El sistema desarrollado incluye también frenada regenerativa, que no está mostrada en la figura, momento en que el motor eléctrico proporciona energía a las baterías. Se ha escogido la colocación de las mismas debajo del compartimento de pasajeros, para alejarlas del motor y de las temperaturas elevadas. El tipo de baterías escogidos es plomo ácido, tipo VRLA. Este tipo es la solución más efectiva

para aplicaciones híbridas de pequeño y medio consumo, debido a sus buenas características de entrega de corriente, ciclo de vida amplio y buena fiabilidad. El único inconveniente para ésta y cualquier otra aplicación, es su peso y volumen elevados.



**Fig. 2 – Vista de Catia de EPISOL**

No se han escogido sus principales rivales, las de ión-litio, por razones de precio.

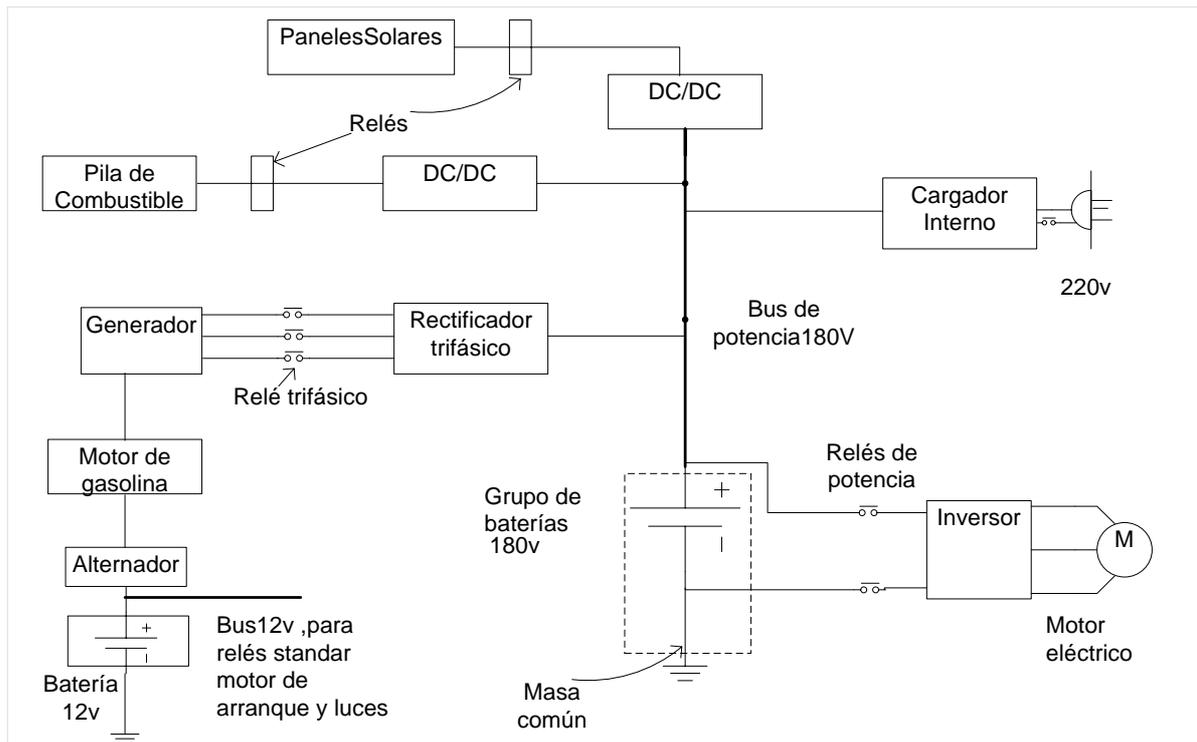
Por supuesto, hay un sistema embebido hardware de control para conseguir la correcta operación de todos los elementos, como se mostrará a continuación.

### **3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Como ya se ha mencionado, hay varios módulos en el sistema: Paneles solares, pila de combustible, generador, baterías, inversor y motor eléctrico (Figura 3). Además se usan varios convertidores DC/DC y un rectificador trifásico para alimentar al “bus de potencia” de 180v, que permite la carga de la batería principal. También se incluye, principalmente como reminiscencia de los coches normales, un bus de 12v, para alimentar diversos elementos. Este bus secundario, con su propia batería auxiliar, será eliminado en un futuro próximo.

Otros elementos fundamentales son el inversor, que genera las tensiones trifásicas para mover el motor eléctrico a partir de la batería (y también para cargarlas con la frenada regenerativa) y un cargador interno, totalmente diseñado por nosotros, que carga la batería por la noche o cuando el vehículo está en su central, a partir de una fuente estándar de 220v.

Además son necesarios varios relés, alguno de los mismos de alta potencia y por supuesto una unidad de control, que monitoriza todas las señales analógicas de tensión y corriente y genera las señales de excitación de los relés, para conectar/desconectar los distintos elementos. A continuación se incluye una descripción de los elementos más importantes.



**Fig3 – Diagrama de bloques del sistema**

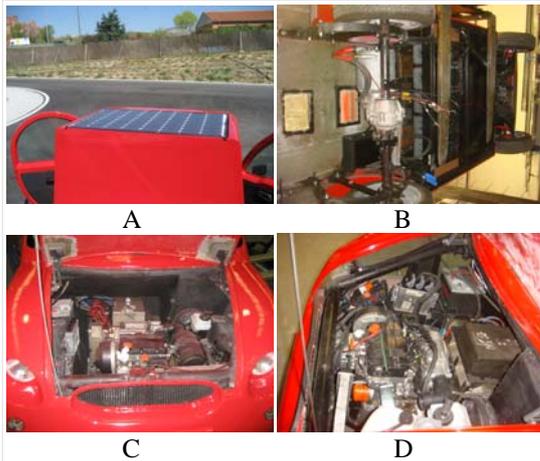
### 3.1 Fuentes de energía

Son los elementos del vehículo usados para cargar la batería principal a través del bus de potencia. Son los siguientes:

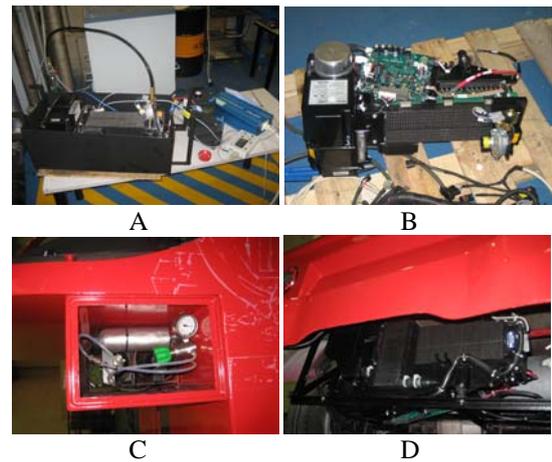
- Paneles solares, con una potencia de 0.15 kW.
- Pila de combustible, con 1,2 kW.
- Generador, de 9kW.

Las figuras 4 y 5 muestran estos elementos. Los dos primeros se usan cuando el bus requiere un nivel bajo o medio de corriente de carga. Sólo si hay un estado muy bajo de carga y la corriente demandada es alta, se conecta el motor de combustión interna para mover el generador. De este modo, EPISOL es la mayoría del tiempo un vehículo verde.

Cuando finaliza el ciclo de trabajo del vehículo, se realiza una recarga completa en su base, que garantiza el correcto funcionamiento al día siguiente. En este caso el trabajo es desempeñado por el “cargador interno”, que proporciona hasta 9 Amp.hora a las baterías, con un control completo en corriente y tensión. Este sistema es otro ejemplo de sistema hardware embebido, ya que usa dos microcontroladores de ocho bits. De hecho, si otros bloques fueran analizados, como los convertidores DC/DC en el generador y en el inversor, aparecerían más bloques de este tipo. Esta es la tendencia normal en el diseño de un automóvil, donde un gran número (hasta 50) trabajan sobre distintas partes del vehículo.



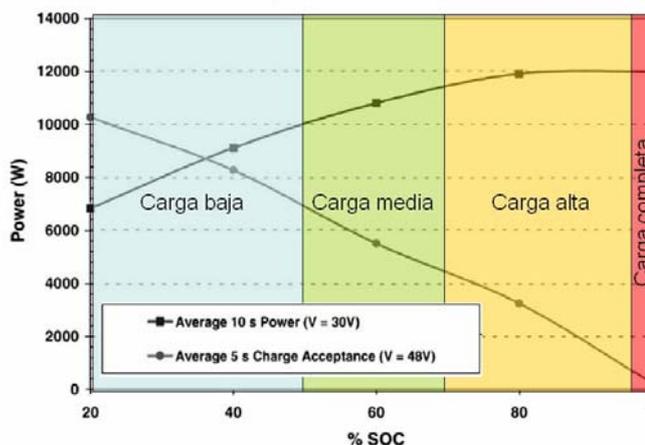
**Fig. 4 – EPISOL Paneles solares (A), Baterías y motor eléctrico (B); Motor, generador y elementos auxiliares (C, D).**



**Fig. 5 – Pila de combustible (A), Banco de pruebas. (B) (C), Situación en el vehículo (D).**

### 3.2 Baterías

Son la parte más importante del vehículo, para evitar en lo posible su deterioro se hace un gran esfuerzo por mantener siempre un estado de carga mayor del 50% en todas las condiciones de funcionamiento. Cuando el vehículo está operando a partir de un estado de baterías completamente cargadas, la carga se va reduciendo, aunque de forma limitada por las contribuciones de los paneles solares y la pila de combustible. Cuando es necesaria una recarga, esta ocurre en el estado de carga media (Figura 6), donde la aceptación de corriente es más elevada y se prolonga el ciclo de vida de la batería.



**Fig. 6 – Estados de carga de la batería.**

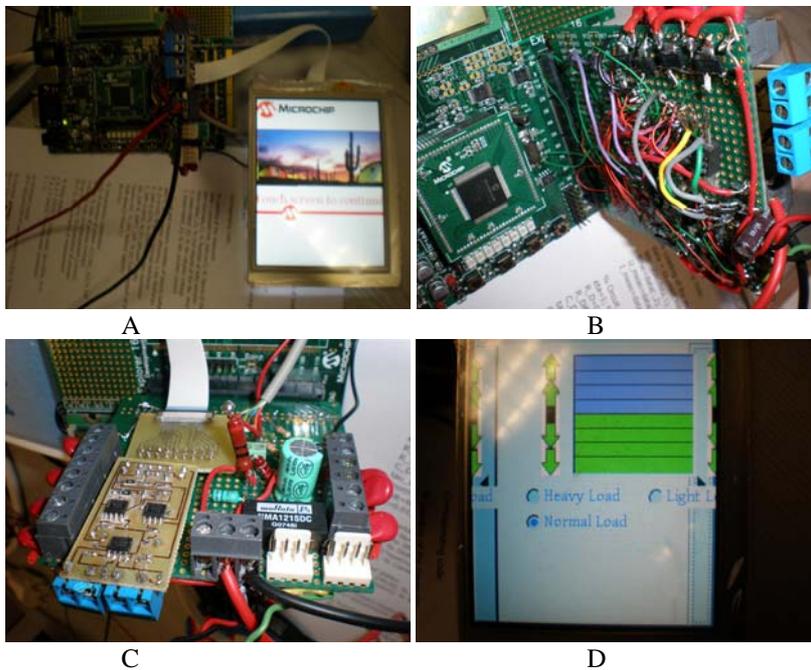
Los elementos usados para realizar el módulo de baterías son 25 módulos Orbital 6v, tipo VRLA. Se han escogido este tipo de elementos por su coste, fiabilidad y ciclo de vida, aunque como ya se ha comentado, en un futuro próximo se incorporará una solución de Ión-Litio, dada su menor peso y tamaño.

### 3.3 Sistema hardware embebido

Este sistema de control, encargado de la gestión del estado de carga de las baterías, está formado por un microcontrolador de 16 bits, una pantalla táctil de 5,7 pulgadas, dos sensores Hall para medir corrientes y varios circuitos auxiliares, como adaptadores de nivel para

adecuar las señales a los rangos de los conversores analógico/digitales del micro y buffers usados para excitar los relés de salida.

Se ha seleccionado un PIC24FJ128 de Microchip y una pantalla táctil QVGA de Microtips, para que el conductor pueda introducir de forma fácil las órdenes y visualice en todo momento el estado de las variables importantes del vehículo, como el estado de carga y los valores de corriente proporcionados por distintos elementos. Todos estos componentes se muestran en la Figura 7, donde están el sistema de desarrollo empleado (Explorer 16 de Microchip), la pantalla táctil y los componentes electrónicos empleados. Actualmente se está realizando una placa de circuito impreso con todos los componentes, una vez que se ha probado que la configuración simulada funciona correctamente. Como dato curioso, señalar que la posición de la pantalla en el automóvil es vertical (portrait mode), debido a los severos requerimientos de espacio en el interior del vehículo; este hecho motivó a que toda la información gráfica y los botones han tenido que ser girados.



**Fig. 7 – Detalles del sistema hardware embebido; Explorer 16 y pantalla táctil (A), vistas de la placa de elementos auxiliares (B, C) Resultados en la pantalla (D)**

Un sólo circuito (el PIC de 16 bits) es capaz de controlar el control del proceso de carga, la conversión de datos (mediante su conversor interno integrado) y la operación entrada/salida de la pantalla táctil, a través de su bus integrado de ocho bits.

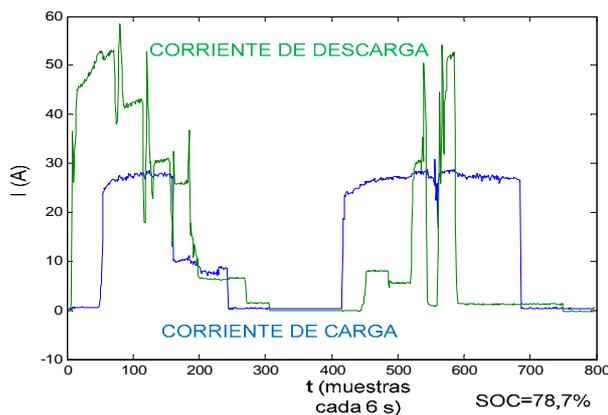
El mencionado proceso de control de carga requiere de un cálculo preciso del estado de carga (1) de las baterías en tiempo real, con una estrategia de control que se ha intentado patentar.

$$SOC = SOC_{INIT} + \int_0^t \frac{1}{Q} Idt \quad (1)$$

donde el estado de carga inicial (en tanto por ciento) es:

$$SOC_{INT} = \frac{(VBATT(0) - 149,375)}{0,15625} \quad (2)$$

donde la tensión inicial de las baterías (VBATT(0)) y la capacidad de las mismas,  $Q = 24A.h$  son usadas. La corriente I, usada en la expresión (1) es la corriente total que carga a las baterías, obtenida restando la que requiere el motor eléctrico de la que entra. De este modo se procesa la información cada décima de segundo, se actualiza el valor del estado de carga, y según el mismo, se conectan los elementos necesarios para su correcta gestión. En la Figura 8 se muestran algunos resultados experimentales, que prueban la validez del sistema realizado. Se han usado muchos de los 100 pines del microcontrolador como entradas y salidas para controlar el funcionamiento de los componentes del sistema embebido de control, pero todavía quedan bastantes libres, para futuras mejoras o ampliaciones. Las pantallas táctiles resistivas, como la usada en esta aplicación son una opción viable para una aplicación de automoción, frente a la alternativa capacitiva, más cara y usada en el mercado de terminales de telefonía móvil. Este elemento proporciona una forma fácil y clara para representar una gran cantidad de información al conductor, desde las indicaciones de nuestro sistema de control de baterías, a otras alarmas y señales adicionales.



**Fig. 8 – Cálculo del estado de carga.**

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado por completo un nuevo sistema de control hardware, capaz de funcionar con muchas configuraciones de vehículos híbridos. Proporciona una solución de bajo coste e incorpora una pantalla táctil para la introducción de órdenes y la visualización de resultados., lo que consideramos es una opción muy interesante para los vehículos.

El sistema, al igual que el vehículo completo, ha sido simulado con herramientas CAD, construido físicamente y probado. Se ha desarrollado también un modelo teórico simple para calcular los requerimientos energéticos de los elementos que se incluyen en el vehículo, para asegurar una elección óptima. Este modelo es útil para simular el comportamiento del sistema ante nuevas configuraciones y mejorar las prestaciones del sistema.

Debería considerarse que se pueden integrar en el vehículo diferentes elementos adicionales

(sensores y actuadores), con ningún cambio físico en la aplicación. Sólo una reprogramación y un nuevo diseño de la placa de circuito impreso serían necesarios. Si hubiera problema por falta de entradas o salidas en el microcontrolador, otra versión mayor podría ser usada.

De un modo similar, se podrían presentar dos limitaciones en el futuro a la implementación presentada, debido a dos factores: la baja resolución de la pantalla usada y la potencia de cálculo del microcontrolador escogido. Para solucionar la primera se debería usar otra pantalla con una resolución mayor a la QVGA, un microcontrolador con mayor cantidad de memoria para gráficos o la inclusión de memoria externa en el sistema. La segunda limitación requeriría el uso de un DSPIC o un microcontrolador de 32 bits, para realizar un sistema con mayor potencia de cálculo, aunque los autores no lo estiman necesario, dado el buen funcionamiento de la solución actual.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a CEMUSA, EXIDE y al Departamento FIS de la ETSIT.

## **REFERENCIAS**

- BAUMAN, J. (2008): "A Comparative Study of Fuel-Cell–Battery, Fuel-Cell–Ultracapacitor, and Fuel-Cell–Battery–Ultracapacitor Vehicles". *IEEE Trans. Vehicular Technology* 57 (2), pp. 760-769.
- BREE, P.J. (2009). Prediction of Battery Behavior Subject to High-Rate Partial State of Charge. *IEEE Trans. Vehicular Technology* 58 (2), pp.588-595.
- CHAN, C. C. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE* 95 (4), pp 704-718.
- EMADI, A. (2006) Power Electronics Intensive Solutions for Advanced Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicular Power Systems. *IEEE Trans. Power Electronics*. 21 (3), pp. 567-577.
- EMADI, A. (2008). Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Trans. Industrial Electronics*, 55 (6), pp. 2237-2245.
- FERREIRA, A. (2008). Energy Management Fuzzy Logic Supervisory for Electric Vehicle Power Supplies System. *IEEE Trans. Power Electronics* 23 (1), pp. 107-115.
- HAMMERSCHMIDT, C. (2008). Greener cars set to change IC landscape. *ee.times.eu. United Business Media LLC*, pp. 1-3.
- HE, X. (2006). Development of a Hybrid Electric Vehicle With a Hydrogen-Fueled IC Engine. *IEEE Trans. Vehicular Technology*. 55 (6), pp. 1693-2003.
- KHALIGH, A. (2008). Modified Pulse-Adjustment Technique to Control DC/DC Converters Driving Variable Constant-Power Loads. *IEEE Trans. Industrial Electronics* 55(3), pp. 1133-1146.
- PISU, P. (2007). A Comparative Study Of Supervisory Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Trans. Control Systems Technology* 15(3), pp. 506-518.
- SOLERO, L. (2005). Design of Multiple-Input Power Converter for Hybrid Vehicles. *IEEE Trans. Power Electronics* 20 (5), pp. 1007-1016.
- SONG KIM (2008). Nonlinear State of Charge Estimator for Hybrid Electric Vehicle Battery. *IEEE Trans. Power Electronics* 23 (4), pp. 2027-2034.