



Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS)

Battery management system (BMS) and its importance to battery energy storage system (BESS)

Diego Julián Rodríguez Patarroyo¹, Ronyver Alexander Gómez Porras²,
Andrés Felipe Campos Fajardo³

Fecha de recepción: Agosto 28 de 2015

Fecha de aceptación: Septiembre 25 de 2015

Como citar: Rodríguez, D., Gómez, R., & Campos, A. (2015). Sistemas de gestión de baterías (BMS) y su importancia para los sistemas de almacenamiento de baterías (BESS). Revista Tecnura, 19 (CITIE), 51-56. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.ICE.a05>

Resumen

El incremento en la implementación de sistemas eléctricos alimentados con energías renovables requiere de sistemas de almacenamiento seguro y confiable, por lo tanto mientras no se desarrollen tecnologías para la construcción de baterías es necesario mejorar su uso a través de su parte operativa. Este artículo resume la principales características con las que deben contar hoy en día los BMS en sistemas con baterías para protegerlas y prolongar su vida útil a través de cinco secciones: introducción a los BMS, primeros usos, el sistema de reconfiguración, retroalimentación activa y finalmente el enfoque económico.

Palabras clave: sistema de gestión de batería (BMS), sistema de almacenamiento de baterías (BESS), estado de carga (SOC), duración restante de la vida útil (SOH).

Abstract

Increase implementation of electric system feed with renewable energy requires storage systems reliable and secure hence while it does not develop technology in making battery it is necessary improve its use throughout its operative work. This article summaries main features that BMS has nowadays with batteries in order to protect them and extend their lifespan through five approaches: an introduction to BMS, first uses, reconfiguration system, active feedback, and finally, economic approach.

Keywords: battery management system (BMS), battery energy storage system (BESS), state of charge (SOC), state of health (SOH).

¹ Físico, Magister en Física, Candidato a Doctor en Ingeniería – Ciencia y Tecnología de Materiales. Laboratorio de Investigación en Fuentes Alternativas de Energía, Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Contact: djrodriguez@udistrital.edu.co

² Estudiante último semestre Ingeniería Eléctrica. Laboratorio de Investigación en Fuentes Alternativas de Energía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Contact: ragomez@correo.udistrital.edu.co

³ Estudiante último semestre Ingeniería Eléctrica. Laboratorio de Investigación en Fuentes Alternativas de Energía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Contact: afcampos@correo.udistrital.edu.co

INTRODUCCIÓN

Un BMS está compuesto por un hardware y un software que controlan la carga y descarga de una batería garantizando al mismo tiempo una operación confiable y segura. Esto implica el control de los niveles de corriente y tensión, de las condiciones de carga y descarga, de la limitación de la ventana de operación respecto al SOC y/o la temperatura, de la gestión térmica, del balance en tensión entre las celdas, etc, por lo tanto un apropiado sistema de gestión es capaz de predecir la máxima energía y potencia disponible para una conexión y desconexión segura de las cadenas que mejoran su uso y por ende los costos asociados (Chaturvedi, Klein, Christensen, Ahmed, & Kojic, 2010; Meissner & Richter, 2003). Un BMS usualmente contiene las características presentadas en la figura 1 que no solo controlan las funciones de almacenamiento para optimizar la vida útil, eficiencia y seguridad del dispositivo, si no que provee una precisa estimación de los estados de la batería para la gestión energética (Rahimi-Eichi, Ojha, Baronti, & Chow, 2013).

Por lo tanto los BMS cuentan con dos importantes enfoques operacionales, monitoreo y control, que no pueden ser separados durante la operación, por ejemplo, para garantizar un apropiado, rápido y preciso control de la carga y descarga de las baterías es necesario un sistema de monitoreo que analice el voltaje, la corriente, la temperatura interna, SOC y SOH, y así se proteja la batería contra situaciones peligrosas como sobrecargas y descargas profundas (Haq, y otros, 2014).

INICIOS DE LOS BMS

Un arreglo de baterías consiste en varias celdas conectadas en paralelo y serie para proveer el voltaje y la capacidad necesarios para la operación. Sin embargo, siempre existe un desbalance de voltaje y capacidad entre las baterías conectadas (Rahimi-Eichi, Ojha, Baronti, & Chow, 2013). Es por esto que las primeras técnicas de gestión de energía, desarrolladas a mediados de los años noventa, se enfocaron en el balance de carga entre celdas (Pascual & Krein, 1997), cargando cada una de ellas

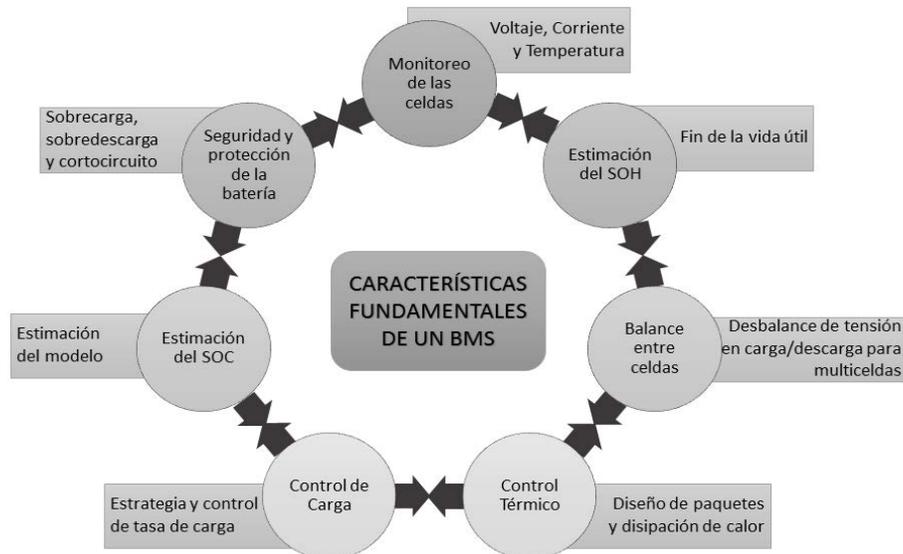


Figura 1. Principales funciones de los Sistemas de Gestión.

Fuente: (Rahimi-Eichi, 2013).

de forma independiente a través de la conmutación de condensadores que permitieran el intercambio de energía. También se estudió el caso del aumento de la capacidad por incremento de la demanda (Cole, Schmitt, & Szymborski, 1998), adicionando cadenas de baterías en paralelo, obligando al análisis del desbalance de tensión, capacidad, SOC y SOH. Se encontró que las baterías compartían las corrientes de carga y descarga en proporción de su capacidad y SOH. Hoy se sabe que el desbalance de SOC es un factor de envejecimiento debido a que aumenta la temperatura interna de las cadenas fuera de los rangos máximos recomendados (Maharjan, Yamagishi, & Akagi, 2010).

SISTEMA DE RECONFIGURACIÓN

El corazón de un BESS es una topología única en su habilidad de reconfiguración dinámica para proveer conexiones selectivas, aislamiento y versatilidad para las baterías, permitiendo así la conexión de n baterías para proveer un voltaje máximo, una capacidad máxima y voltaje/capacidad nominales (Alahmad, Hess, Mojarradi, West, & Whitacre, 2008). De esta forma es posible disponer de múltiples paquetes de baterías en paralelo de modo que cuando uno es descargado este es cambiado por otro que proporcione el voltaje y la capacidad requerida, de igual forma es posible cubrir necesidades futuras a través de la adición de cadenas de mayor capacidad (Ci, Zhang, Sharif, & Alahmad, 2007). Así mismo, es posible proveer características adicionales como múltiples algoritmos de carga (corriente constante, voltaje constante, pulso, etc.) a través de sistemas gestionados por microprocesadores o PLC's para cargar las baterías individualmente (Visairo & Kumar, 2008), y flexibilidad a la configuración para maximizar el uso de la capacidad restante de las baterías utilizadas.

Algunos ejemplos de interruptores que permiten esta reconfiguración son relés, contactores, transistores FET, NMOS, PMOS y CMOS e interruptores MEMS (Alahmad, Hess, Mojarradi, West, & Whitacre, 2008). Si a estos sistemas de interrupción se

le agregan características controladas por unidades de gestión tales como seguridad en procesos de carga y descarga (Mandal, Bhojwani, Mohanty, & Mahapatra, 2008) y reconfiguración para recuperarse de daños, tolerar fallas internas y mejorar la entrega de energía (Kim & Shin, 2009; Kim, Qiao, & Qu, Series-Connected Reconfigurable Multicell Battery: A Novel Design Towards Smart Batteries, 2010; Ci, Zhang, Sharif, & Alahmad, 2012), se tendría un BESS dinámico a través de un BMS altamente confiable que asegura la continuidad en el servicio de abastecimiento y que evita daños relacionados con sobrecargas y reacciones internas inadecuadas. Kim, Qiao y Qu (2011, 2012) proponen topologías en serie y paralelo validados en perfiles de carga específicos optimizando el sistema en términos de la capacidad aprovechable y el SOH.

RETROALIMENTACIÓN ACTIVA

Un óptimo BMS controla las condiciones operacionales de la batería para prolongar su vida útil y garantizar su seguridad a través de la estimación de los parámetros SOC y SOH, esto es posible gracias a que el BMS posee características para el control y monitoreo del estado de cada celda y así conocer su estado actual, predecir su capacidad y controlar el intercambio energético. Aunque aquí la precisión en la estimación juega un papel fundamental, hasta el punto de convertirse en un factor normativo que posee diferentes conflictos (Meissner & Richter, 2003): precisión de los sensores y sistemas de adquisición de datos, necesidad de alcanzar un objetivo técnico dado, esfuerzo debido al rendimiento de la batería y su limitada reproducibilidad, calidad de los modelos y algoritmos utilizados, costos asociados (aunque este suele ser balanceado por los beneficios que recibe el consumidor). Por lo tanto, una confiable estimación del SOC y SOH no solo es necesaria para una óptima gestión de la energía sino que protege a la batería contra descargas profundas o sobrecargas, prolonga la vida de la batería y define el arreglo para sustituirla. Estos factores no pueden ser obtenidos

directamente de los terminales de la batería, por lo que es necesario el desarrollo en algoritmos de estimación que utilicen variables eléctricas como el voltaje, la corriente y la temperatura (Rahimi-Eichi, 2013). Una descripción general de los métodos de estimación de SOC y SOH más conocidos y utilizados se encuentra en el documento desarrollado en (Hernández, Campos, & Gómez, 2015).

Otro factor de gran importancia para garantizar la protección en la operación de la batería es la temperatura, de allí que es necesario tener en cuenta rangos seguros de operación para que la eficiencia no se vea afectada en cuanto a degradación o aumento de resistencia interna. La necesidad de disipar el calor producido por las celdas debido a reacciones electroquímicas es más relevante cuando varias celdas están agrupadas, por lo tanto es común utilizar ventilación forzada para los bancos de baterías controlados por el BMS, este analiza la transferencia de calor para determinar la distribución calorífica dentro de la batería y disiparlo usando aire o en determinados casos líquido (McKeon, Furukawa, & Fenstermacher, 2014). De igual forma, los regímenes de carga y descarga son fundamentales cuando de seguridad se trata porque a pesar de que la tasa de descarga es predeterminada por la aplicación, la tasa de carga depende de los requerimientos del usuario, donde usualmente es mejor cuando más rápido se logre (Rahimi-Eichi, 2013). Estas limitaciones han obligado al estudio en técnicas de carga eficaces e innovadoras junto con algoritmos de coordinación de descarga para los BMS para que sea posible soportar diferentes situaciones peligrosas de acuerdo a la batería para protegerla (Micea, Ungurean, Cârstoiu, & Groza, 2011).

Un óptimo BMS hace uso de un modelo de batería específico para condensar todas las variables censadas y así conocer el estado real de la batería bajo cierta incertidumbre. Aunque, dependiendo del enfoque de análisis algunos modelos pueden ser más adecuados o precisos; por ejemplo para predecir la potencia y la energía disponible así

como el proceso de envejecimiento de la batería es necesario trabajar con un modelo electroquímico ya que tiene en cuenta características físicas como resistencia de película, recombinación interna y coeficientes de difusión (Chaturvedi, Klein, Christensen, Ahmed, & Kojic, 2010). Hoy en día existen diferentes algoritmos de identificación para actualizar el modelo de la batería en tiempo real usando voltajes y corrientes medidos, teniendo en cuenta el dinamismo de la batería (Rahimi-Eichi, Ojha, Baronti, & Chow, 2013; Sitterly, Wang, Yin, & Wang, 2011). Con el ánimo de alcanzar dicho comportamiento adaptativo, la selección del modelo de batería enfrenta algunos desafíos tales como identificabilidad del modelo acorde a la aplicación con base en la tendencia de los parámetros eléctricos y químicos medibles, parcialidad en los diferentes tipos de modelos en función del alcance del proyecto y la aplicación, y convergencia con un objetivo, comportamiento o incertidumbre estimada con anterioridad para el sistema.

ENFOQUE ECONÓMICO

Todas las anteriores funciones de los sistemas de gestión no serían viables si en el papel no representarían alguna disminución de costos; por tanto (Jin & Shin, 2012) plantea un BMS con las ventajas mencionadas incluyendo un análisis económico favorable en términos de los costos y esfuerzos asociados en mantenimiento y localización de fallas. Igualmente, (Carpinelli, Khormali, Mottola, & Proto, 2013) plantea una estrategia de operación óptima para los BESS utilizando los principios de la programación lineal para minimizar la función de costo relacionada con el servicio eléctrico y al mismo tiempo satisfacer las restricciones técnicas de maximización de la eficiencia y vida útil.

OBSERVACIONES FINALES

Se ha denotado que los BMS son técnicas que aseguran el óptimo funcionamiento de las baterías

mediante el monitoreo de las variables eléctricas diferenciadas, los procesos de carga-descarga y condiciones de operación segura que definen parámetros internos para prolongar su vida útil. Por lo tanto se deben contar con modelos de baterías adecuados, métodos de estimación de SOC y SOH con el menor grado de incertidumbre y operación en tiempo real que permitan alcanzar este objetivo. En consecuencia hoy en día la investigación en BMS va de la mano con el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento que hacen viable la utilización de vehículos eléctricos, redes inteligentes y micro redes con el incentivo de políticas ambientales sustentables de los actuales gobiernos (Sinkaram, Rajakumar, & Asirvadam, 2012; Sen & Kar, 2009; Zhixin, Ling, Disfani, & Lingling, 2014); nuevos modelos implementados en los algoritmos de monitoreo y estimación de parámetros funcionales (Pattipati, Sankavaram, & Pattipati, 2011) y sistemas de reconfiguración dinámica que no solo permiten diferentes capacidades y voltajes de BESS, incluyen además cargas específicas dentro de la red de conexión para alimentarlas con una o más baterías dependiendo del estado de las mismas (Wey & Ping-Chang, 2013). En fin, los BMS guiarán el camino de la investigación a medida que las energías renovables sigan su creciente inclusión dentro de los sistemas de abastecimiento eléctrico debido a su amplia importancia desde el punto de vista del respaldo, calidad de energía, continuidad y disponibilidad del servicio, regulación, gestión de la demanda, etc., siendo necesaria cada vez más la implementación de sistemas de monitoreo y control que ejecuten tareas enfocadas al aprovechamiento energético dentro de la nueva tendencia de sistemas distribuidos como micro-redes y redes inteligentes, logrando así que este campo se mantenga en constante evolución.

FINANCIAMIENTO:

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

REFERENCIAS

- Alahmad, M., Hess, H., Mojarradi, M., West, W., & Whitacre, J. (2008). Battery switch array system with application for JPL's rechargeable micro-scale batteries. *Journal of Power Sources, Elsevier*, 177(2), 566-578.
- Carpinelli, G., Khormali, S., Mottola, F., & Proto, D. (2013). Optimal Operation of Electrical Energy Storage Systems for Industrial Applications. *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES)*. Vancouver, BC.
- Chaturvedi, N. A., Klein, R., Christensen, J., Ahmed, J., & Kojic, A. (2010). Algorithms for Advanced Battery-Management Systems. *Control Systems, IEEE*, 30(3), 49-68.
- Ci, S., Zhang, J., Sharif, H., & Alahmad, M. (2012). Dynamic Reconfigurable Multi-Cell Battery: A Novel Approach to Improve Battery Performance. *27th Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE APEC*. Orlando, Florida: IEEE.
- Cole, B., Schmitt, R., & Szyborski, J. (1998). Operational Characteristics of VRLA Batteries Configured in Parallel Strings. *20th International Telecommunications Energy Conference, IEEE INTELEC*. San Francisco, CA, USA.
- Haq, I., Leksono, E., Iqbal, M., Sodami, F., Nugraha, Kurniadi, D., & Yuliarto, B. (2014). Development of battery management system for cell monitoring and protection. *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS)* (págs. 203-208). Kuta, Indonesia: IEEE.
- Hernández, J., Campos, A. F., & Gómez, R. (2015). State of charge and state of health determination model for a lead-acid battery to be implemented in a management system. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 195.
- Jin, F., & Shin, K. G. (2012). Pack Sizing and Reconfiguration for Management of Large-Scale Batteries. *3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, IEEE ACM*. Beijing, China.
- Kim, H., & Shin, K. (2009). On Dynamic Reconfiguration of Large-Scale Battery System. *15th IEEE*

- Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*. San Francisco.
- Kim, T., Qiao, W., & Qu, L. (2010). Series-Connected Reconfigurable Multicell Battery: A Novel Design Towards Smart Batteries. *Energy Conversion Congress and Exposition, IEEE ECCE*. Atlanta: IEEE.
- Kim, T., Qiao, W., & Qu, L. (2011). Self-Reconfigurable Multicell Batteries. *Energy Conversion Congress and Exposition, IEEE ECCE*. Phoenix, Arizona: IEEE.
- Kim, T., Qiao, W., & Qu, L. (2011). Series-Connected Self-Reconfigurable Multicell Battery. *26th Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE APEC*. Fort Worth, Texas: IEEE.
- Kim, T., Qiao, W., & Qu, L. (2012). A Series-Connected Self-Reconfigurable Multicell Battery Capable of Safe and Effective Charging/Discharging and Balancing Operations. *27th Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE APEC*. Orlando, Florida: IEEE.
- Maharjan, L., Yamagishi, T., & Akagi, H. (2010). Active-Power Control of Individual Converter Cells for a Battery Energy Storage System Based on a Multilevel Cascade PWM Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(3), 1099-1107.
- Mandal, S., Bhojwani, P., Mohanty, S., & Mahapatra, R. (2008). IntellBatt: Towards Smarter Battery Design. *45th Design Automation Conference, IEEE ACM*. California, USA: IEEE.
- McKeon, B. B., Furukawa, J., & Fenstermacher, S. (2014). Advanced Lead-Acid Batteries and the Development of Grid-Scale Energy Storage System.
- Meissner, E., & Richter, G. (2003). Battery Monitoring and Electrical Energy Management Precondition for future vehicle electric power systems. *Journal of Power Sources, Elsevier*, 116(1-2), 79-98.
- Micea, M. V., Ungurean, L., Cârstoiu, G. N., & Groza, V. (2011). Online State-of-Health Assessment for Battery Management Systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(6), 1997-2006.
- Pascual, C., & Krein, P. T. (1997). Switched Capacitor system for Automatic Series Battery Equalization. *Applied Power Electronics Conference and Exposition, IEEE APEC*. Atlanta, USA.
- Pattipati, B., Sankavaram, C., & Pattipati, K. (2011). System Identification and Estimation Framework for Pivotal Automotive Battery Management System Characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 869-884.
- Rahimi-Eichi, H., Ojha, U., Baronti, F., & Chow, M. -Y. (2013). Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles. *Industrial Electronics Magazine, IEEE*, 7(2), 4-16.
- Sen, C., & Kar, N. (2009). Battery pack modeling for the analysis of battery management system of a hybrid electric vehicle. *Vehicle Power and Propulsion Conference* (págs. 207-212). Dearborn, Michigan: IEEE.
- Sinkaram, C., Rajakumar, K., & Asirvadam, V. (2012). Modeling battery management system using the lithium-ion battery. *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCS-CE)*, (págs. 50-55). Penang, Malasia.
- Sitterly, M., Wang, L. Y., Yin, G. G., & Wang, C. (2011). Enhanced Identification of Battery Models for Real-Time Battery Management. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2(3), 300-308.
- Visairo, H., & Kumar, P. (2008). A Reconfigurable Battery Pack for Improving Power Conversion Efficiency in Portable Devices. *7th International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems, IEEE ICCDCS*. Cancun, Mexico.
- Wey, C.-L., & Ping-Chang, J. (2013). A unitized charging and discharging smart battery management system. *International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (págs. 903-909). Las Vegas, Nevada: IEEE.
- Zhixin, M., Ling, X., Disfani, V., & Lingling, F. (2014). An SOC-Based Battery Management System for Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 966-973.

