

## Lectura de la tesis de Gustavo Antonio Perez Rodriguez

22/03/2016

El 18 de marzo, a las 11:30 h, el Doctorando Gustavo Antonio Perez Rodriguez de la Escuela Politécnica Superior de Mondragon Unibertsitatea presentó su tesis doctoral en el Auditorio del Polo de Innovación Garaia de Mondragon Unibertsitatea. El título de la tesis: *Advanced closed loop algorithms for state of charge and state of health estimation in Li-ion batteries at wide operating conditions*, y sus directores: Jonan Barrena e Igor Villareal. Además, obtuvo la calificación de Sobresaliente mención Cum Laude.

### En el tribunal de la tesis participaron:

- **Presidente:** Dr. D. Omar Noshin (Vrije Universiteit Brussel)
- **Vocal:** Dr. D. Manuel Arias Pérez de Azpeitia (Universidad de Oviedo)
- **Vocal:** Dr. D. Jean-François Philippe Joseph Reynaud (CAF Power & Automation)
- **Vocal:** Dr. D. Cosmin Koch-Ciobotaru (Fundación Ayesa)
- **Secretario:** Dr. D. Unai Iraola Iriondo (Mondragon Unibertsitatea)

### Resumen de tesis:

El desarrollo de las tecnologías de almacenamiento energético en los últimos años ha incrementado la utilización de baterías en un gran número de aplicaciones que requieren trabajar de forma autónoma o donde el uso de la energía puede ser optimizado. En este contexto, la utilización de baterías de Li-ion está cada vez más extendida dadas sus ventajas en cuanto a densidad de energía y potencia. La determinación del estado de la batería es uno de los aspectos más importantes en este tipo de sistemas. El estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) son los parámetros esenciales en la determinación de estado, ya que indican la energía disponible y la capacidad de suministrar energía y potencia.

Esta tesis presenta un estimador en lazo cerrado de SOC y SOH mejorado para baterías de Li-ion basado en el filtro de Kalman extendido, capaz de funcionar en amplias condiciones de operación. La técnica de parametrización propuesta soluciona los principales problemas identificados en los métodos conocidos respecto a la identificación de los parámetros del modelo. Además, el modelo puede ser actualizado para representar de forma precisa la respuesta de la celda ante perfiles de corriente de dinámicas variadas, considerando el efecto de histéresis en todo el rango de SOC y diferentes temperaturas.

Dicho modelo ha sido posteriormente implementado en un filtro de Kalman extendido para realizar la estimación de SOC. La principal ventaja del algoritmo propuesto es que los cálculos de coulomb counting y la estimación precisa de tensión pueden utilizarse simultáneamente en todo momento como parte del filtro, obteniendo una estimación estable y precisa en cualquier circunstancia. Por otra parte, el procedimiento de integración propuesto es fundamental dado que habilita la implementación del modelo sin realizar ninguna simplificación.

Además, el algoritmo de estimación de estado ha sido complementado para posibilitar la determinación del SOH, basada en la actualización de los parámetros del modelo para contemplar los cambios en el comportamiento de la celda durante su vida. La estimación conjunta de SOC y SOH ha sido realizada mediante un Filtro de Kalman Extendido en múltiples escalas de tiempo, incluyendo algunas mejoras sobre los enfoques existentes. El desarrollo más importante es que cada parámetro que varía lentamente se corrige de acuerdo a un indicador de error único. Por esto, se define una nueva estructura donde cada parámetro es estimado con filtros separados que pueden emplear



diferentes escalas temporales. El cálculo de estas medidas de error también ha sido mejorado extendiendo el concepto de proyección de estado para obtener una conformación de salida, empleando la información de todas las medidas disponibles entre cada etapa de corrección en los filtros de escalas temporales más lentas. Todas estas modificaciones contribuyen a reducir la influencia de errores puntuales en las acciones de corrección.

Finalmente, el modelo y el estimador de estado han sido validados experimentalmente con celdas NMC de Li-ion Kokam de 40 Ah. Para ello se han realizado varios experimentos en todo el rango de SOC a diferentes temperaturas y con perfiles de corriente de dinámicas variadas, incluyendo pulsos, ciclos de conducción FUDS o perfiles de aplicación de ascensor residencial con almacenamiento energético. Los ensayos también se han realizado en diferentes condiciones de envejecimiento, demostrando que se mantiene la precisión en la estimación de SOC y que los parámetros que determinan el SOH como la capacidad o la resistencia interna se actualizan al mismo tiempo. El error de estimación de SOC resultante ha sido menor del 2-3% en todos los casos, mientras que el error en la determinación de capacidad ha sido menor del 1% y del 10% para la resistencia interna.