

Introducción

En la actualidad, lograr la transición energética no es posible si no se consideran sistemas de almacenamiento (SA). Estos son los encargados de lidiar con las fluctuaciones en la energía generada por fuentes renovables, tales como la **solar**, la **eólica** o la **marina**. En este contexto, es necesario considerar las problemáticas existentes en los SA más diversificados. Por ejemplo, baterías de Ión-Litio (BL), baterías de Flujo Redox (BFR), o Supercapacitores (SC).

En particular en este trabajo, son presentadas nuevas estructuras desarrolladas para la estimación de los estados de carga (EC) y de Salud (ES) en SA. Entre las principales ventajas de las propuestas se encuentran: rápida velocidad de convergencia a los estados y parámetros del modelo, robustez, y precisión.

Descripción del sistema en la Forma de Fliess

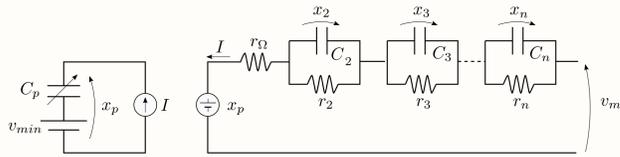


Figura 1: MCE equivalente empleado (Caso genérico de orden n).

El primer paso requerido para arribar a las nuevas estructuras para estimación de parámetros propuesta es el de encontrar una descripción cerrada para el comportamiento de los SA. Para encontrar un modelo lineal variante en el tiempo que permita contemplar las características no lineales de estos sistemas, es propuesta la inclusión de la llamada capacidad incremental (CI) en los modelos de circuito eléctrico (MCE) equivalentes (Ver Figura 1.)

Luego, la descripción en el espacio de estados es transformada a la forma canónica generalizada de M. Fliess (FCGF):

$$\dot{v}_m = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}I \quad (1)$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{C}\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}I + \mathbf{D}\dot{I} \quad (2)$$

$$\vdots$$

$$v_m^{(n-1)} = \mathbf{C}\mathbf{A}^{n-1}\mathbf{x} + \mathbf{C}\mathbf{A}^{n-2}\mathbf{B}I + \dots + \mathbf{D}I^{(n-1)} \quad (3)$$

en la cual es posible obtener una salida parametrizada de los parámetros del modelo. Es decir, una ecuación auxiliar lineal en los parámetros:

$$v_m^{(n)} + a_1 v_m^{(n-1)} + \dots + a_n v_m = b_0 I^{(n)} + b_1 I^{(n-1)} + \dots + b_n I \quad (4)$$

Esta, permite que sean empleados diversos métodos de estimación de parámetros, los cuales permiten obtener los elementos del MCE utilizado. Estos métodos podrían ser:

estimadores recursivos clásicos, métodos de gradiente, filtros de Kalman, o estimadores por modos deslizantes, entre otros.

Nuevo esquema de observación adaptivo propuesto

Debe observarse la salida auxiliar obtenida (4), requiere de las derivadas de la corriente y la tensión del sistema. Por lo tanto, las propuestas desarrolladas en este trabajo (así como en otras publicaciones de los autores) incluyen estructuras de diferenciación por modos deslizantes. Estas son capaces de proveer, en tiempo finito, estimaciones robustas de las señales a diferenciar. Adicionalmente, utilizar diferenciadores por modos deslizantes permite plantear una estructura de observación adaptiva de la forma:

$$\mathbf{x} = \Phi^{-1}(\Phi_{n-1}(v_m)) = \mathcal{O}^{-1}[\Phi_{n-1}(v_m) - \mathcal{F}\Phi_{n-1}(I)] \quad (5)$$

hallado a partir de despejar \mathbf{x} de las ecuaciones (1), (2) y (3). Es fundamental notar que en este esquema, las estructuras de diferenciación y estimación de parámetros se encuentran desacopladas, como se ilustra en la Figura 2.

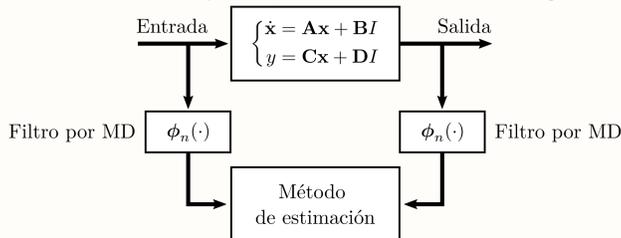


Figura 2: Esquema ilustrativo de la propuesta de observación adaptiva empleada.

Estimación del estado de salud empleando las propuestas desarrolladas

Para determinar los mencionados EC y ES, se requiere de una estimación adecuada de los parámetros de los MCE de la Figura 1. Para esto, se emplea la ecuación auxiliar (4) junto con un estimador recursivo con factor de olvido, en combinación con un diferenciador por MD filtrante de orden 2 (para mayor detalle ver publicaciones de los autores).

Luego, estas estimaciones pueden ser empleadas para inferir tanto el EC como el ES. En particular en este poster los esfuerzos se centran en los avances logrados para la estimación del ES. Si bien existen diferentes índices para el ES, en la bibliografía reciente, se destaca el uso de la Capacidad Incremental como medio para evaluar el deterioro de los sistemas de almacenamiento.

En la propuesta realizada, debido a que la CI se encuentra en el modelo, es posible inferir este parámetro en tiem-

po real. Esto, es una novedad, puesto que no existen en la actualidad otros métodos que permitan realizar estas estimaciones. Para evaluar el ES a partir de la CI, las propuestas más difundidas emplean la estimación del pico máximo de la CI, y comparan dicho valor con el valor nominal esperado, como es presentado a continuación.

Resultados

Para evaluar el algoritmo y la metodología propuesta, se emplean datos relevados experimentalmente disponibles en librerías de la Universidad de Oxford. Estos datos corresponden a baterías de Ión litio, paulatinamente degradadas. El objetivo de esta sección es el de obtener estimaciones del deterioro de las baterías. Luego, se comparan los resultados de estimación con los datos disponibles de los relevamientos experimentales obtenidos en situaciones controladas de laboratorio.

Por un lado, en la Figura 4 se presentan los datos empleados en las simulaciones. A partir de un breve análisis de los datos disponibles en el dataset de Oxford empleado, puede notarse que a medida que las BL se deterioran, el valor del pico máximo de CI decrece (Observar Figura 4 alrededor de 376V). Luego, los resultados para la estimación de dicha capacidad incremental se presentan en la Figura 3. Puede notarse que, sucintamente, el esquema de estimación propuesto permite recuperar de forma precisa los valores de la CI. Como conclusión entonces, el método propuesto permitiría recuperar el ES a partir de una evaluación de la CI. Es último es debido a que como ha sido demostrado en la bibliografía especializada, existe una correlación entre el deterioro de las baterías, y el decaimiento del pico máximo de la CI.

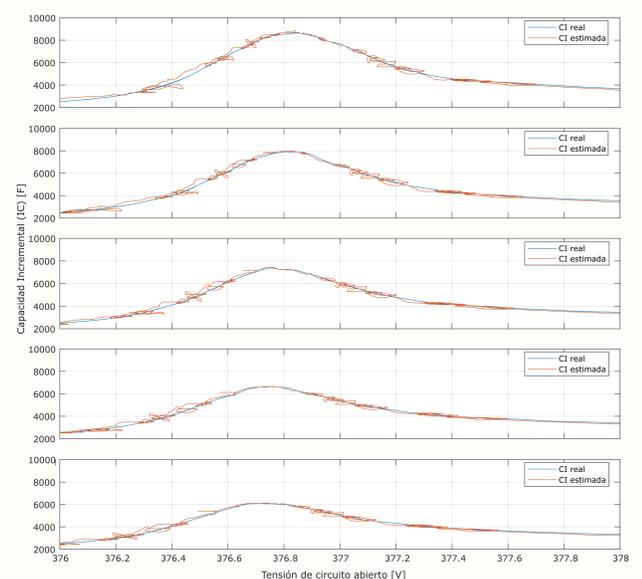


Figura 3: Estimación de la CI para distintos niveles de degradación. De arriba hacia abajo: 0 a 400 ciclos.

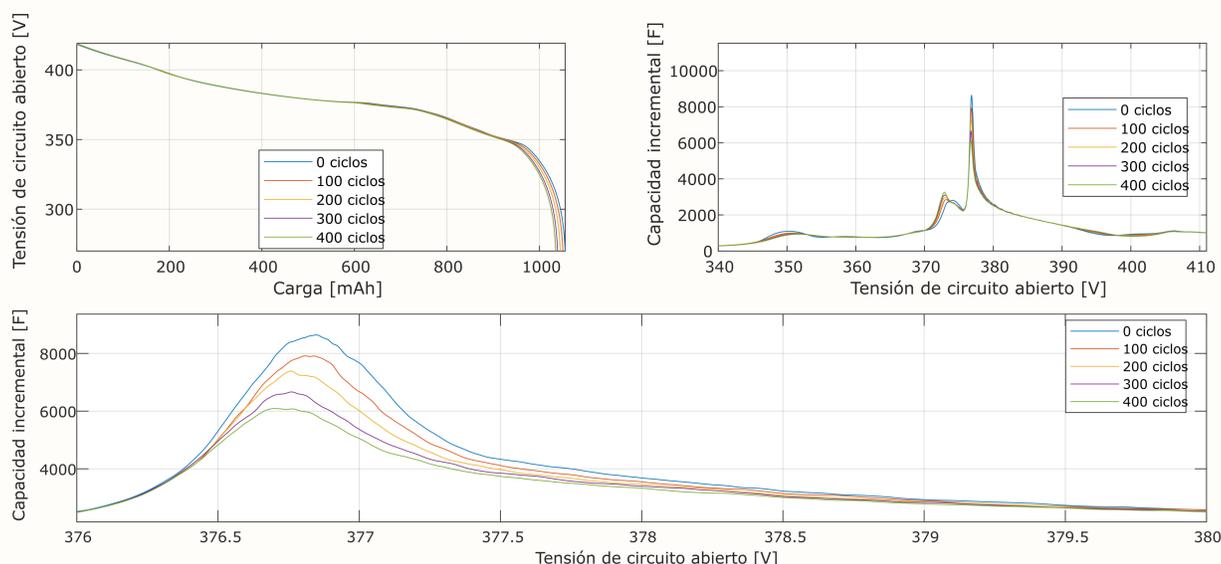


Figura 4: Datos nominales de las Baterías de Ión-Litio empleadas.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron novedosas estructuras de observación adaptiva para la caracterización de sistemas de almacenamiento de energía. Estas estructuras permiten estimar en tiempo real tanto el EC como el ES. Adicionalmente, estos esquemas podrían ser empleado en una amplia diversidad de aplicaciones.

En particular, los resultados de este trabajo se centraron en la estimación del ES en BL a partir de datos experimentales. Estos, se enmarcan dentro de proyectos de investigación desarrollados en el instituto LEICI. En particular, han sido parte de los avances presentados en la tesis doctoral del Ing. Fornaro Pedro. En instancias futuras de estos proyectos, se planea realizar evaluaciones en una amplia variedad de sistemas de almacenamiento así como en diferentes condiciones de operación y aplicaciones.