

Control basado en pasividad con estrategia adaptativa de un sistema de almacenamiento energético para una nano-red DC*

Sebastián Sánchez-Choachi**

Recibido: 26/09/2017 • Aceptado: 11/02/2019

<https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a11>

Resumen

El creciente interés en el desarrollo de las micro-redes ha impulsado un gran número de investigaciones que pretenden mejorar su desempeño para una posterior industrialización. Por este motivo, este artículo presenta el modelamiento, diseño de control y resultados de simulación de un sistema de almacenamiento energético para una nano-red DC, el cual permite almacenar energía en las baterías o extraerla de ellas, según sea el estado de las cargas y las fuentes de la nano-red. Este dispositivo se construye a partir de un convertidor bidireccional DC-DC no aislado, para el que se desarrolla su modelo y posterior estrategia de control basada en pasividad, acompañada de un mecanismo adaptativo que le permite estimar algunos de sus parámetros y cambios. Se presentan los resultados de simulación entre los cuales destaca la rápida respuesta del sistema, su robustez ante perturbaciones y la contribución a la regulación de la tensión del bus DC de la nano-red.

Palabras clave: cargador de baterías; convertidores de potencia DC-DC; estimación de parámetros; fuentes de alimentación de emergencia; nano-red DC; sistema adaptativo.

* Este artículo es el resultado de la investigación en curso del proyecto *Cargador de baterías de mediana y baja capacidad con baja distorsión armónica en corriente, elevado factor de potencia y alta eficiencia para vehículos eléctricos* (113071551746), financiado por Colciencias durante el tiempo comprendido entre el 8 de abril del 2016 y el 8 de abril del 2018.

** Ingeniero electrónico y físico, magister en Ingeniería Electrónica. Investigador activo del grupo LIfae, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: jossanchez@correo.udistrital.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1945-5975>

Passivity-Based Control with an Adaptive Strategy of an Energetic Storage System for a DC Nano Grid

Abstract

The growing interest in the development of micro-grids has led to a large number of research projects, in order to improve their performance for further industrialization. For this reason, this paper presents the modeling, control design and simulation results of an energy storage system for a DC nano-grid. This device allows storing energy in the batteries or extract it from them, depending on the load and state of the nano-grid sources. This equipment is built from a non-isolated DC-DC bidirectional converter, for which its model and control strategy based on passivity, accompanied by an adaptive mechanism that estimates some parameters of the system are developed. The simulation results are presented, highlighting the fast response of the system, its robustness facing disturbances and its contribution to the regulation of the DC bus voltage of the nano-grid.

Keywords: Adaptive system; battery chargers; DC-DC power converters; DC nano-grid; emergency power supplies; parameter estimation.

Controle baseado em passividade com estratégia adaptativa de um sistema de armazenamento energético para uma nanorrede DC

Resumo

O crescente interesse no desenvolvimento das microrredes impulsionou muitas pesquisas que pretendem melhorar seu desempenho para uma posterior industrialização. Por esse motivo, este artigo apresenta a modelagem, desenho de controle e resultados de simulação de um sistema de armazenamento energético para uma nanorrede DC, que permite armazenar energia nas baterias ou extraí-la das baterias, de acordo com o estado das cargas e das fontes da nanorrede. Esse dispositivo é construído a partir de um conversor bidirecional DC-DC não isolado, para o qual se desenvolve o modelo e posterior estratégia de controle baseada em passividade, acompanhada de um mecanismo adaptativo que o permite estimar alguns de seus parâmetros e alterações. Apresentam-se os resultados de simulação entre os quais se destaca a rápida resposta do sistema, sua robustez ante perturbações e a contribuição para a regulação da tensão do ônibus DC da nanorrede.

Palavras-chave: carregador de baterias; conversores de potência DC-DC; estimativa de parâmetros; fontes de alimentação de emergência; nanorrede DC; sistema adaptativo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se desarrollan múltiples investigaciones en torno a las micro-redes como consecuencia de ventajas tales como la reducción de pérdidas de transmisión y distribución, junto con el beneficio ecológico que tiene este tipo de sistemas al incluir dentro de su estructura fuentes alternativas como la eólica y fotovoltaica. Esto permite además, diversificar las fuentes de generación eléctrica, que en países como Colombia son mayormente hídricas [1], lo cual hace difícil y costoso la expansión de su capacidad, y causa una alta dependencia de fenómenos naturales, lo que a su vez genera una relación directa entre el precio de la energía y el caudal de los ríos [2] y pone en riesgo el sector eléctrico y todos los demás que directa e indirectamente dependen de este. Adicionalmente, la implementación de este tipo de sistemas también ofrece acceso al fluido eléctrico en las zonas que no se encuentran conectadas a la red eléctrica, lo que supone un gran número de beneficios económicos y sociales para cada una de esas zonas.

Las micro-redes que desarrollan capacidades inferiores a 5 kW se denominan normalmente nano-redes, las cuales tienen aplicaciones en sistemas de comunicaciones y de oficina [3], o domésticas y de entretenimiento [4]. A su vez, las nano-redes se pueden clasificar en AC o DC, siendo estas últimas sobre las cuales se centra el presente trabajo, esto debido a sus ventajas frente a las primeras, tales como simplicidad en diseño y control, mayor eficiencia al no poseer convertidores AC-DC y DC-AC para conectar las fuentes de generación renovable, bajas pérdidas de transmisión debido a la cercanía con las fuentes alternativas de generación y la ausencia de problemas de sincronismos o distorsión armónica [5], con lo cual se evita el uso de complejos correctores de factor de potencia como el desarrollado en [6], en el que se evidencia una notable complejidad, problemas de funcionamiento e incremento del costo de implementación de la nano-red.

A pesar de las ventajas ya mencionadas, las nano-redes en modo isla son vulnerables a cambios climáticos debido al uso de fuentes eólicas y fotovoltaicas, lo que les impide ofrecer un suministro eléctrico ininterrumpido por sí solas. Por tal motivo, se incluyen los sistemas de almacenamiento energético (SAE), que responden al estado conjunto de las fuentes y las cargas almacenando energía cuando las fuentes generan más de la que consumen las cargas y entregándola en caso de que las condiciones climáticas no permitan suplir la potencia demandada por el bus DC. Adicionalmente, los SAE contribuyen a la regulación de los niveles de tensión y mejoran la estabilidad del sistema [7]. Por estos motivos, resulta evidente la importancia de los SAE dentro del funcionamiento de la nano-red, lo que sugiere dedicar especial atención al mejoramiento de los sistemas de almacenamiento energético como estrategia de robustecimiento de las nano-redes.

Estos SAE están compuestos por un conjunto de baterías que se conectan al bus DC mediante un convertidor bidireccional que ajusta los niveles de tensión. Dicho convertidor debe ser eficiente y operar de la manera en la que se ilustra en la figura 1, en la que la tensión de referencia (v_{cref}) divide la región de operación en dos. En la región superior, el SAE almacena energía y en la inferior, la extrae de las baterías y la inyecta al bus DC de acuerdo con las necesidades de las cargas.

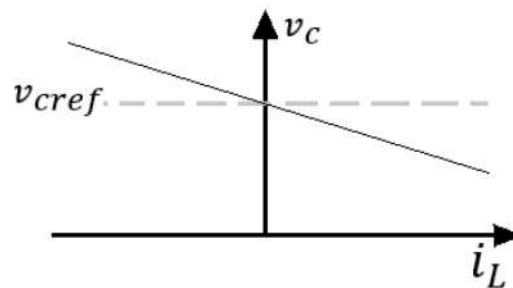


Figura 1. Corriente del SAE de acuerdo con la tensión del bus DC

Fuente: elaboración propia

Se pueden emplear diferentes topologías de conversión junto con distintas estrategias de control para el desarrollo de sistemas de este tipo. Dentro de las estrategias de control es posible encontrar controladores lineales como los tradicionales PID y controladores no lineales como modos deslizantes [8], controladores difusos [9], TCM [10] y finalmente, los basados en pasividad como el mostrado en [11]. Todos estos controladores presentan problemas al incorporar incertidumbre en algunos de sus parámetros, sin embargo, el controlador basado en pasividad es especialmente sensible a estos cambios, como lo ratifica [11] al establecer como una de las condiciones de funcionamiento del sistema que “todos los parámetros son totalmente definidos y bien conocidos”, lo cual en la práctica es difícil de lograr, dada la imposibilidad de tener total certeza de estos parámetros o por la variación de estos frente a diferentes condiciones del sistema.

No obstante, en trabajos como el presentado en [12], se incorporan técnicas de adaptabilidad mediante la identificación algebraica de parámetros, en la que se usan ventanas de tiempo relativamente grandes para la determinación de dichos parámetros y en los cuales se asume que dicha variable permanece constante, lo que lo convierte en un método de largos tiempos de respuesta. Por lo anterior, este artículo presenta el modelamiento y diseño de control de un SAE para una nano-red DC, que a diferencia de los muchos desarrollos al respecto, hace uso de una topología de conversión no aislada de alta eficiencia, cuyo control se basa en pasividad, lo cual asegura una estabilidad ininterrumpida del sistema, pero que presenta problemas de robustez al poseer un alto

grado de dependencia de los parámetros del sistema. Para solucionar este problema, se incorpora un mecanismo de adaptabilidad basado en *inmersión e invariancia* que permite estimar estos parámetros mediante la lectura de corriente y tensión, además del conocimiento de la dinámica del sistema.

1. MODELAMIENTO

Por razones de rendimiento, simplicidad y eficiencia, se elige al convertidor reductor-elevador mostrado en la figura 2, como el encargado de permitir el intercambio bidireccional de energía entre la batería y el bus DC, cuyo modelo también es presentado en esa misma figura. Este convertidor opera como un elevador del puerto 1 al 2 si se conmuta S1, mientras S2 está abierto, con lo que solo opera su diodo de cuerpo. Para el caso contrario en el que S2 conmuta y S1 está abierto, el convertidor operará como un reductor del puerto 2 al 1. En consecuencia, la señal de conmutación del interruptor S1 es la misma que la del interruptor S2, pero negada, lo que permite tener un modelo único del sistema y no uno para cada modo de operación, que funcionará dependiendo del estado del bus DC, que para este caso es representado como el paralelo entre una carga resistiva y una fuente ideal de corriente.

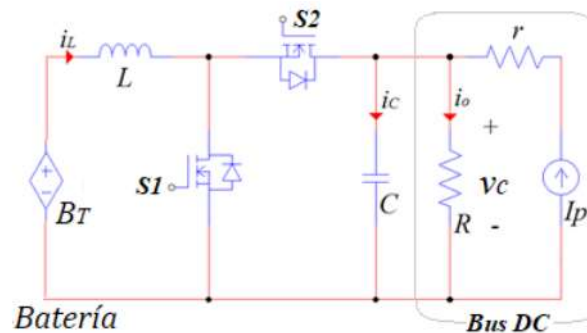


Figura 2. Modelo de circuito del SAE y el bus DC

Fuente: elaboración propia

1.1 Modelo del SAE

Para caracterizar el comportamiento del convertidor, se hará uso del formalismo de Euler-Lagrange, en el que el sistema se lleva a la forma indicada por la ecuación 1, siendo X la matriz columna de las variables estado del sistema, que para este caso son la corriente en el inductor (i_L) y la tensión del condensador de salida (v_c) que se encuentra conectado al bus DC, d es el ciclo útil, H es una matriz definida positiva que relaciona la energía almacenada en los elementos, F considera la energía interna del sistema y finalmente K es una matriz definida como positiva que da cuentas de la razón de disipación de energía.