

Arquitectura de control para sistemas de almacenamiento de energía en microrredes DC de generación distribuida

R. Salas-Puente, S. Marzal, R. Gonzalez-Medina, E. Figueres, G. Garcerá.
Grupo de Sistemas Electrónicos Industriales del Departamento de Ingeniería Electrónica,
Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España.

Resumen—En este trabajo se propone la arquitectura de control de un sistema de almacenamiento en baterías, para la gestión eficiente de los convertidores de potencia que conforman una microrred DC de generación distribuida. El sistema implementado es un convertidor DC/DC de 3kW con flujo bidireccional de potencia conectado al bus DC, el cual proporciona o almacena energía cuando el controlador central de la microrred lo requiere. El convertidor cuenta con un sistema de comunicación serial RS 485 usando el protocolo MODBUS, mediante el cual se realiza el intercambio de consignas entre los diferentes convertidores de potencia que conforman la microrred y el operador de red implementado en Labview. La arquitectura de control del sistema está diseñada con el objetivo principal de mantener el balance de energía en la microrred DC y la estabilidad del bus. Para la verificación del control se realiza un estudio de la estabilidad del bus DC ante diferentes escenarios que pueden provocar cambios bruscos en el flujo de potencia del bus DC. Se emula cambios en la conexión y desconexión de las cargas conectadas al bus DC y cambios en la cantidad de potencia generada. Se observan en los resultados experimentales y de simulación que el sistema de control planteado permite la comunicación, el balance y reparto de carga entre los generadores distribuidos que operan en la microrred. La propuesta es validada mediante resultados experimentales y de simulación.

Palabras clave— almacenamiento en baterías, control de convertidores, gestión de potencia, microrred DC.

I. INTRODUCCIÓN

El principal avance de las microrredes eléctricas, es su capacidad de operar como un único sistema de alimentación, ya que dichas microrredes están formadas por fuentes de generación distribuida y sistemas de almacenamiento de energía que permiten un mejor aprovechamiento de las fuentes generadoras de energías [1-2]. Por tal motivo es de vital importancia el estudio de sistemas de gestión y almacenamiento en baterías que permitan el manejo eficiente de la energía almacenada. Para ello, es cada vez más necesario el diseño de convertidores de potencia que proporcionen información al controlador central de la microrred, sobre el estado del banco baterías y de sus parámetros medibles y controlables [3-4].

Para el diseño apropiado del sistema de almacenamiento en baterías, se debe tener en consideración algunos factores que permiten una operación adecuada de las baterías y que prolongan el tiempo de servicio de las mismas, estos parámetros son; (a) operar las baterías en sus niveles de carga/descarga adecuados, monitorizando el

estado de carga de las baterías SoC (*Stated of Charge*) y controlando la capacidad máxima de carga y de descarga [5-6] (b) evitar las descargas profundas con el fin de aumentar el tiempo de vida de las baterías, aunque vale la pena destacar que este tiempo es impredecible y depende de muchos factores como son; la profundidad de descarga, las variaciones en la temperatura, la corrosión y las corrientes de carga/descarga [7-8].

Este estudio se centra en la gestión que realiza el control de un sistema de almacenamiento de energía en baterías ESS (*Energy Storage System*), implementado en un convertidor DC/DC con flujo bidireccional de potencia de 3kW. El convertidor está diseñado para trabajar en una microrred DC de generación distribuida con comunicación serial RS485, la cual es manejada por un controlador central de la microrred MGCC (*Microgrid Central Controller*) programado en Labview. El MGCC envía consignas de control a todos los dispositivos de la microrred. El convertidor está diseñado para suministrar la potencia necesaria en el bus DC según lo solicite el MGCC, así como también almacenar energía en baterías, y cargarlas a diferentes niveles de capacidad, lo cual permite aprovechar al máximo las energías renovables presentes y mantener activas las cargas de mayor prioridad.

El presente artículo se divide en cinco apartados principales, en el apartado II se presenta la topología utilizada y una descripción general del sistema. En el apartado III se muestra el diseño de los lazos de control involucrados y del algoritmo de carga según curva DIN41773, así como también la estrategia de inicialización de los reguladores, que evitan sobrecorrientes cuando ocurren cambios bruscos en las consignas de control por parte del MGCC. En el apartado IV, se muestran los resultados de simulación y experimentales obtenidos para validar el sistema planteado y la discusión de los mismos. Finalmente en V las conclusiones.

II. CONVERTIDOR DC/DC IMPLEMENTADO

A. Sistema de almacenamiento de energía (ESS) propuesto

La topología seleccionada para el convertidor DC/DC con flujo bidireccional de potencia de 3kW es el medio-puente, y se muestra en la Fig.1. Esta topología garantiza alta eficiencia durante el proceso de carga y descarga del banco de baterías, ya que funciona como un Buck-Boost. El modulador de ancho de pulso PWM, ajusta el ciclo de

servicio permitiendo el flujo bidireccional de potencia entre el banco de baterías y el bus DC. El driver aislado ISO5500 provee aislamiento entre los circuitos de control implementados en el DSP TMS28F335 y los IGBTs T1 y T2. El control está diseñado para atender las peticiones del MGCC implementado en Labview. En la Tabla I se presenta la nomenclatura utilizada en este artículo.

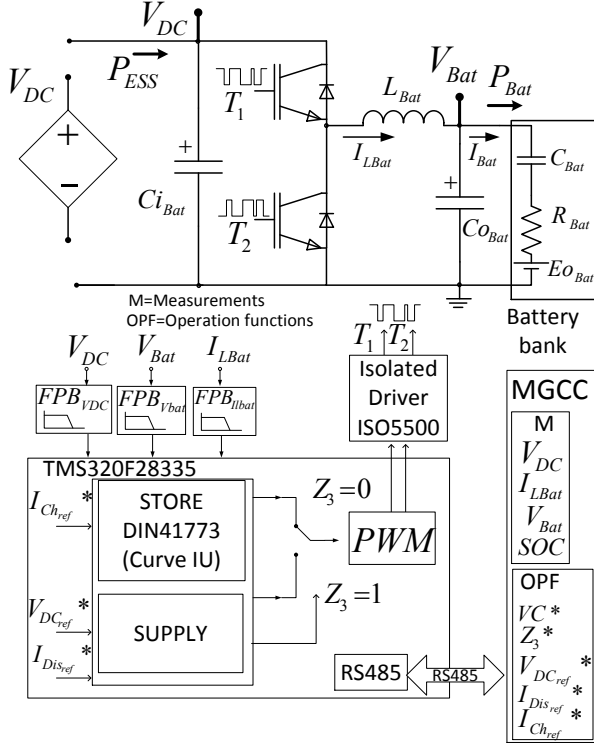


Fig. 1. Esquema simplificado del convertidor Buck-Boost de 3kW.

TABLE I. NOMENCLATURA

P_{ESS}	Potencia de carga del banco de baterías visto desde el bus DC
P_{Bat}	Potencia de carga del banco de baterías
η_{EES}	Rendimiento del ESS
V_{DC}	Tensión en el bus DC
SoC	Estado de carga de las baterías
I_{Bat}	Corriente de carga de las baterías
I_{lbat}	Corriente en la bobina del ESS
V_{Bat}	Tensión en el banco de baterías
$V_{DC_ref}^*$	Referencia de tensión del bus DC
$I_{Ch_ref}^*$	Referencia de la corriente de carga del banco de baterías
$I_{Dis_ref}^*$	Referencia de la corriente de descarga del banco de baterías
Z_3^*	Señal digital que indica si el ESS almacena o supe energía al bus DC
VC^*	Señal digital que indica si el ESS funciona como fuente de tensión controlada o como fuente de corriente controlada
G_{Vbat}	Regulador de tensión de las baterías
G_{VDC}	Regulador de tensión del bus DC
G_{Ibat}	Regulador de la corriente I_{lbat}

En la Fig. 1, el SoC es calculado por el DSP utilizando la ecuación en tiempo discreto representada en (1), donde C_T es la capacidad total del banco de baterías y $C_{dis(ch)}$ es

la capacidad de carga y descarga utilizada en Ah, η es el rendimiento de la capacidad de carga y descarga [9].

$$SOC_k = SOC_{k-1} + \frac{n \cdot I_{batk} \cdot \Delta t}{C_T} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{C_{dis(ch)}}{C_T}$$

B. Diseño de los parámetros del ESS

El ESS diseñado es de 3kW y se usan baterías abiertas de bajo mantenimiento del tipo OPzS de tecnología plomo-ácido [10], modelo 12V20PzS100 de capacidad 100Ah. Se utiliza un banco de 18 baterías en serie, con una tensión nominal de 216V y una corriente de pico máxima de 18 A. El filtro de salida utilizado es un L-C, donde L_{bat} se calculó tomando en consideración dos factores principales; (a) la variación máxima del rizado de la corriente de carga permitido por las baterías de plomo-ácido, (b) el rizado de corriente debe ser menor que la corriente de batería mínima para garantizar que el control se mantenga en conducción continua. La ecuación de diseño de la inductancia L_{bat} se representa en (2). Donde ΔI_{lbat} es la variación máxima de la corriente de rizado, D_{Max} es el ciclo de servicio máximo y F_{sw} es la frecuencia de conmutación [5].

$$L_{Bat} > \frac{V_{Bat} \cdot (1 - D_{Max})}{\Delta I_{lbat} \cdot F_{sw}} \quad (2)$$

El capacitor C_{oBat} se calcula con (3) y depende de la variación máxima de la tensión de salida.

$$C_{oBat} > \frac{V_{Bat} \cdot (1 - D_{Max})}{\Delta V_{Bat} \cdot F_{sw}} \quad (3)$$

III. DISEÑO DEL CONTROL DEL CONVERTIDOR DC/DC IMPLEMENTADO

A. Arquitectura de control implementado

El control del ESS es realizado por el DSP TMS320F28335. En la Fig. 2 se observa el diagrama general del control implementado, la corriente $I_{L_{Bat_ref}}$ es la corriente de referencia que se introduce al regulador en función del modo de funcionamiento del ESS. Si el ESS suministra energía la corriente de referencia es de valor negativo, y en el caso contrario cuando se requiere almacenamiento la corriente de referencia es positiva. Cuando el ESS funciona como cargador $Z_3^*=0$, (convertidor Buck), el ESS absorbe energía del bus DC y controla los valores de tensión y corriente de las baterías para ajustarlo según la curva DIN41773 [11-12], donde la referencia de corriente de carga de las baterías $I_{Ch_ref}^*$ es tomada desde el MGCC, ver Tabla II. Por otro lado, cuando el ESS funciona como suministro de energía al bus DC $Z_3^*=1$ (convertidor Boost). El MGCC puede seleccionar dos modos de suministro del ESS; modo fuente de corriente controlada $VC^*=0$ o modo de tensión controlada $VC^*=1$. Si $VC^*=0$, el ESS inyecta una corriente controlada de descarga de baterías $I_{Dis_ref}^*$ al bus DC. Y en caso contrario si $VC^*=1$ el ESS controla la tensión del bus DC al valor de tensión de referencia $V_{DC_ref}^*$ dado por el MGCC y la corriente inyectada al bus DC I_{lbat} será la necesaria para mantener la tensión del bus DC de referencia.

TABLE II. PARAMETROS DE COMUNICACION ENTRE EL MGCC Y EL ESS MEDIANTE RS485.

MGCC		Convertidor de potencia ESS		
Entradas: Medidas		$I_{\text{bat}}, V_{\text{Bat}}, V_{\text{DC}}, \text{SoC}$		
Salidas: (OPF) Consignas*	Modo de Operación	*Consignas de referencia recibidas por el ESS desde el MGCC. *		
Cargador	Segun Curva IU41773	$VC^*=0$	$Z_3^*=0$	$I_{\text{Ch_ref}}^*$
Suministro	Fuente de corriente controlada	$VC^*=0$	$Z_3^*=1$	$I_{\text{Dis_ref}}^*$
	Fuente de tensión controlada	$VC^*=1$	$Z_3^*=1$	$V_{\text{DC_ref}}^*$

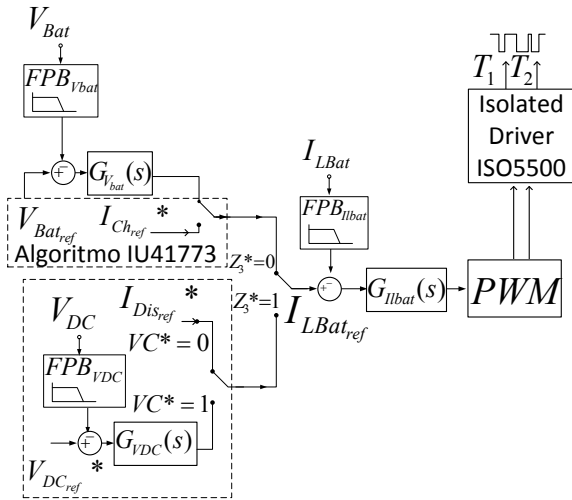


Fig. 2. Esquema general de control del convertidor Buck-Boost.

Los sistemas de gestión de baterías, garantizan la operación de las baterías en sus niveles de tensión y corriente adecuados de carga y descarga, evitando tasas de carga/descarga elevadas y cortocircuitos que puedan calentar las baterías e incendiarlas. Para las baterías de plomo-acido se recomienda el procedimiento de carga según de DIN41773 (IU) [11-12]. El algoritmo presentado en la Fig. 3, describe el procedimiento de carga aplicado DIN41773 (Modo carga), y se aplica con las baterías totalmente desconectadas del punto de consumo de energía. En el modo carga, Z_1 y Z_2 son las banderas del programa que permite identificar en que zona de carga se encuentran las baterías; Z_1 es la zona 1 e indica que el sistema se encuentra en modo corriente controlada de carga de baterías (la corriente $I_{\text{bat_ref}}=I_{\text{Ch_ref}}^*$ es la consigna de corriente enviada por el MGCC a la cual se deben cargar las baterías). Z_2 es la zona 2, y representa el modo tensión de carga de baterías controlada. En resumen, en la Zona 1 se da inicio al modo carga y se carga las baterías con la corriente controlada $I_{\text{bat_ref}}=I_{\text{Ch_ref}}^*$, durante ese proceso la tensión en la batería aumenta hasta llegar al valor de tensión máxima de carga $V_{\text{bat_max}}$. Posteriormente el controlador pasa a la Zona 2, donde se activa el control de tensión, a un valor de referencia constante a tensión máxima de carga $V_{\text{bat_max}}$, la cual se mantiene hasta que llega a un valor umbral de corriente mínima $I_{\text{bat_ref}} \leq$

$I_{\text{bat_cola}}$, o hasta que se cumpla un intervalo de tiempo tce. El t_{CE} es el tiempo de carga excepcional, y el fabricante recomienda que sea menor de 5 horas. Luego se ajusta la referencia del control a la tensión de flotación $V_{\text{bat_flot}}$, y se limita la corriente al valor máximo de la corriente de flotación $I_{\text{bat_ref}} \leq I_{\text{bat_flot}}$.

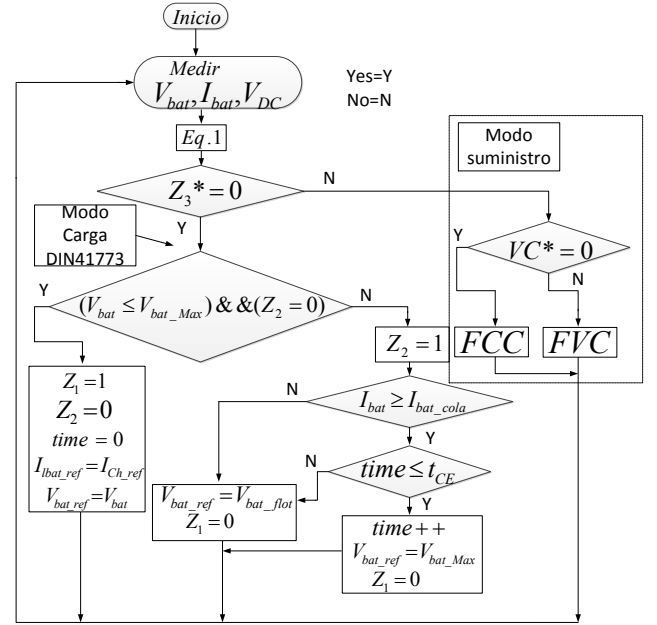


Fig. 3. Algoritmo de control del ESS. **Modo carga**, procedimiento de carga según DIN41773. **Modo suministro**, funciona como fuente controlada de corriente (FCC) o como fuente de voltaje controlado (FVC).

B. Descripción de los reguladores de control

En la Fig. 3 se muestra el algoritmo de control del sistema de almacenamiento en baterías, se observa que el convertidor selecciona el modo de funcionamiento interno modo carga o suministro en función de las consignas de control enviadas por el MGCC (Z_3, VC). El ESS toma los valores de referencia de tensión y corriente $V_{\text{DC_ref}}^*$, $I_{\text{Ch_ref}}^*$, $I_{\text{Dis_ref}}^*$ y selecciona el regulador adecuado para cada estado en el que el convertidor se encuentre. En la tabla III se muestra un resumen de las funciones de transferencias del filtro de sensado y los respectivos reguladores del convertidor.

En la microrred pueden ocurrir cambios bruscos en la potencia de generación, que causan cambios en la gestión de potencia por parte del MGCC, estos cambios pueden ser la disminución en las corrientes de carga/descarga de las baterías o cambios en la dirección del flujo de potencia. Por tal motivo el ESS permite cargar/descargar las baterías a diferentes niveles de corriente manteniendo la estabilidad del bus. Por otro lado, cuando existen conexiones y desconexiones de cargas en el bus DC, se producen cambios instantáneos del flujo de potencia, ya que el MGCC puede solicitar al ESS el cambio instantáneo del modo de funcionamiento (ESS cambia de absorber potencia desde el bus DC para el almacenamiento en baterías, a suministrar potencia desde las baterías hacia el bus DC). Este tipo de cambios en el despacho de potencia, requieren la conmutación entre los diferentes reguladores de control, ver Fig. 2. Estas conmutaciones deben ser

atendidas para evitar los picos transitorios de corriente y tensión en el bus DC, la estrategia de control utilizada en es la inicialización de dichos reguladores y la limitación de los valores de salida ante cualquier cambio en las referencias. En la Fig. 4 se muestra el PI(z) expresado en su forma canónica, y las ecuaciones digitales de inicialización de las salidas. Donde Y_d es la salida deseada del sistema, Y_{MAX} y Y_{MIN} son los límites de salida máximos y mínimos.

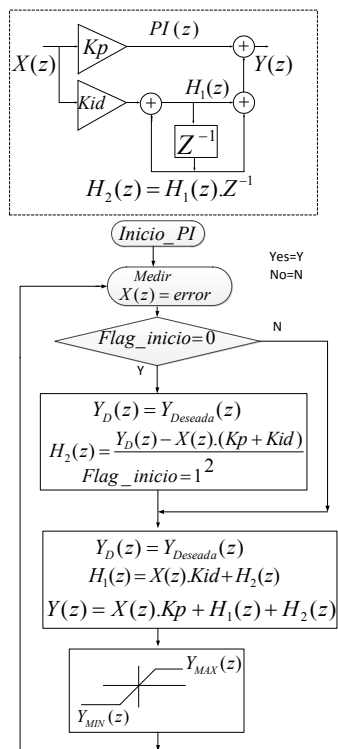


Fig. 4. Programación canónica del PI(z)

TABLE III. RESUMEN DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIAS DEL CONVERTIDOR DC/DC

Ganancia del modulador PWM	$F_m = \frac{1}{V_{pp}}$
Filtro paso bajo medición de corriente y tensión	$FPB(s) = \frac{1}{(R.C)^2.s^2 + 3.R.C.s + 1}$
Regulador de tensión de las baterías V_{bat}	$G_{V_{bat}}(s) = 85 \cdot \frac{(1 + 0.017.s)}{0.017.s}$
Regulador de tensión del bus DC V_{DC}	$G_{V_{DC}}(s) = 0.5201 \cdot \frac{1}{1 + 0.00078.s}$
Regulador de la corriente I_{bat}	$G_{I_{bat}}(s) = 0.13696 \cdot \frac{(1 + 0.0053.s)}{0.0053.s}$

En la Fig.4 se observa la programación del PI implementado, Flag_inicio es la bandera de inicialización del sistema, cuando Flag_inicio=0 se estima el valor de la memoria $H_2(z)$, para así obtener el valor de la salida del sistema deseada $Y_D(z)$, de esta manera se evitan picos peligrosos de corrientes y transitorios que pueden desestabilizar los controles y el bus DC. Las actualizaciones de la memoria solo se realizan si la regulación se encuentra dentro de los límites establecidos.

C. Presentación del prototipo

En la Fig. 5 se muestra el prototipo construido, y en la Fig. 6 se muestra la pantalla diseñada en Labview, los controles de paro e inicio permiten conectar o desconectar el ESS de la microrred, P_{ESS}^* es la potencia disponible en el bus DC. El MGCC funciona como un elemento maestro que monitoriza las variables del ESS cada segundo y envía las consignas de control que estime oportunas para la gestión adecuada de la potencia.

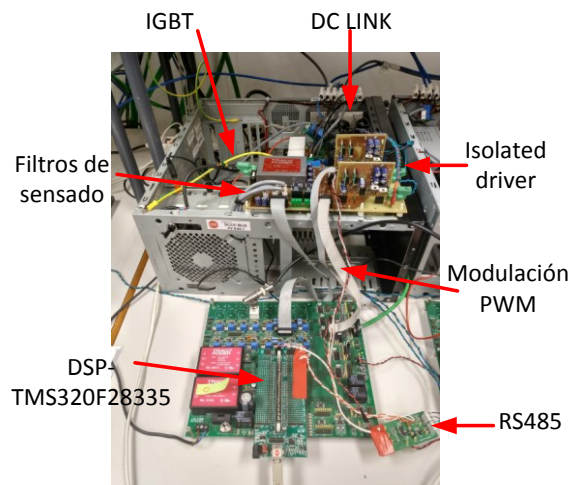


Fig. 5. Foto del prototipo

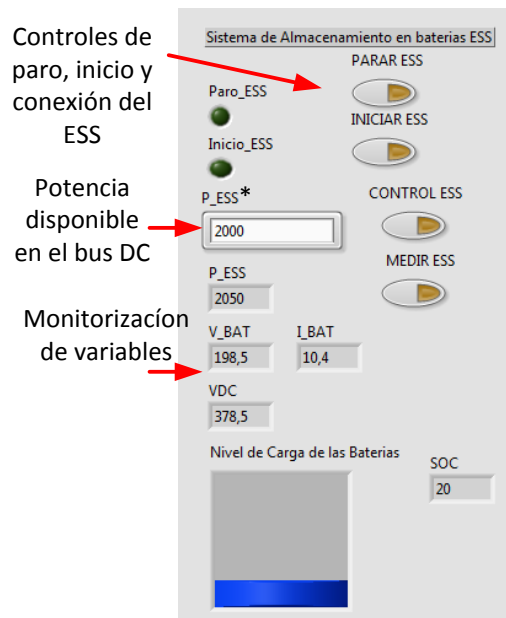


Fig. 6. Pantalla de visualización y control de Labview

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El convertidor de 3kW, está conectado al bus DC de 380V y al banco de 18 baterías. En Tabla IV, se muestran los parámetros del sistema simulado en PSIM y probado experimentalmente.

A. Resultados de simulación 1.

La siguiente simulación es realizada en PSIM y se centrará en el caso particular del convertidor en modo

carga, para la verificación del procedimiento de carga DIN41773. Las baterías se suponen inicialmente descargadas ($SoC=20\%$) y la corriente de carga se establece en $I_{C10}=C_{10}/10$, donde C_{10} especifica la capacidad de descarga (medida en Ah) de las baterías en un tiempo de 10 horas. La C_{bat} para efectos de simulación se supone 1F. En la gráfica de la Fig. 7 se muestra el procedimiento de carga de las baterías. Se observa la evolución de la corriente de carga y los cambios de los valores de referencia siguen el procedimiento de carga establecido.

TABLE IV. PARAMETROS DEL SISTEMA

Potencia nominal del ESS	$P_{ESS}=3kW$
Tensión en el bus DC	$V_{DC}=380V$
Frecuencia de conmutación	$F_{sw}=16kHz$
Inductancia del ESS	$L_{Bat}=5.4mH$
Condensador de entrada y salida	$C_{iBat}=C_{oBat}=0.5mF$
Parámetros de las baterías	
Capacidad de las baterías	$Q=100Ah$
Resistencia equivalente de baterías	$R_{bat}=0.1\Omega$
Tensión nominal	$V_{Bat_nom}=216V$
Tensión de carga máxima	$V_{Bat_MAX}=252V$
Tensión de carga mínima	$V_{Bat_min}=192V$
Tensión de flotación	$V_{Bat_flot}=243V$
Corriente a capacidad C_{10}	$I_{C10}=10A$
Corriente de cola	$I_{bat_cola}=5\% \cdot I_{C10}$

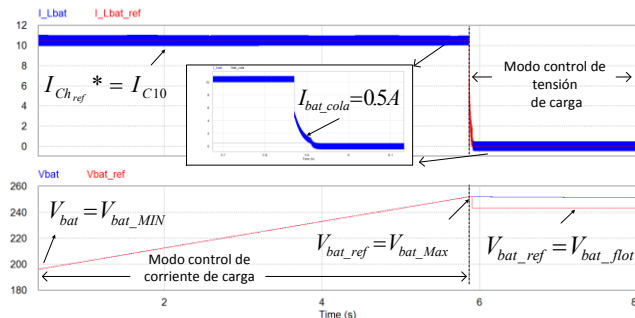


Fig. 7. Resultados de simulación 1. **Modo carga**, procedimiento de carga del banco de baterías según DIN41773

B. Resultados de simulación 2.

Se simula un cambio en las consignas de control enviadas por el MGCC. En el intervalo ($0 < t < 20$ s) el MGCC establece $Z_3^*=1$ y $VC^*=0$, lo que indica al ESS que debe suministrar energía al bus DC y funcionar como fuente de corriente controlada con el valor de referencia de corriente $I_{Dis_ref}^*$. En ($t > 20$ s) se cambia el modo de funcionamiento del ESS a modo carga de baterías, debido que el MGCC detecta que el SoC de las baterías es menor al 20%, el MGCC establece $Z_3^*=0$ y $VC^*=0$. Por lo tanto, se cargan las baterías a corriente $I_{Ch_ref}^*$. En las gráficas de la Fig. 8 se muestra la evolución de las corrientes y tensiones en las baterías, ante los cambios bidireccionales en el flujo de potencia. El ESS al recibir las consignas del MGCC Z_3^* y VC^* , realiza un cambio de suministro a almacenamiento en forma de rampa. La corriente del

banco baterías evolucionan sin ningún tipo de transitorio que puedan afectar al ESS o a la propia microrred.

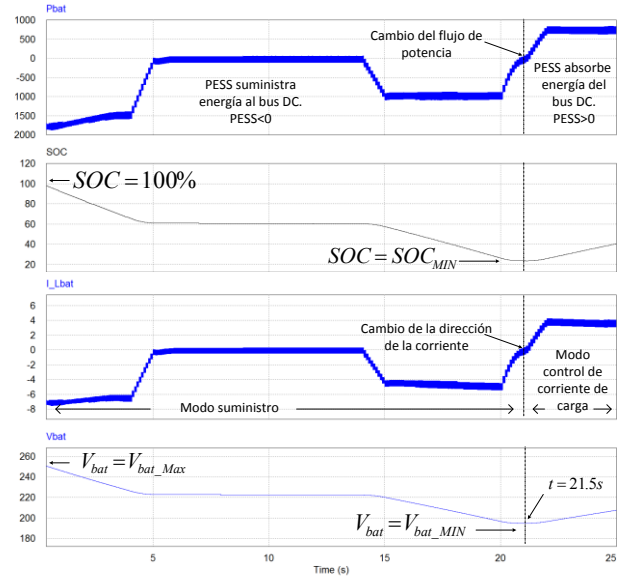


Fig. 8. Resultados de simulación 2. Evolución de P_{bat} , SOC, I_{Lbat} y V_{bat} ante cambios del flujo de potencia del ESS.

C. Resultados Experimentales

Para la obtención de los resultados experimentales, se instaló el ESS en una microrred DC como la mostrada en la Fig. 9. Las baterías fueron simuladas con una fuente bidireccional marca Regatron, el bus DC es controlado por la fuente Amrel (HPS-800-54-D013) a tensión de 380V. Se emula cambios en la conexión y desconexión de las cargas conectadas al bus DC y cambios en la cantidad de potencia generada por el simulador fotovoltaico TerraSAS (ETS1000/10). Con el fin de estudiar el funcionamiento del ESS, ante el posible escenario de un cambio brusco en el flujo de potencia bidireccional en las baterías, se programó el MGCC para que produzca un cambio de 3kW en el flujo de potencia y envíe las consignas (Z_3 y VC) y los valores de referencia $I_{Dis_ref}^*$ y $I_{Ch_ref}^*$ necesarios.

En el lado izquierdo de la Fig 10 se observa que inicialmente el ESS está cargando las baterías a una $I_{bat}=6.25A$ y potencia de 1.5kW (MGCC; $Z_3=0$, $VC=0$ y $I_{Ch_ref}^*=6.2A$) y recibe una solicitud por parte del MGCC de cambio de funcionamiento. El ESS recibe (MGCC; $Z_3=1$, $VC=0$ y $I_{Dis_ref}^*=-6.2A$) por el cual cambia de absorber 1.5kW desde el bus DC para cargar baterías, a inyectar desde las baterías 1.5kW hacia el bus DC.

En el lado derecho de la Fig. 10 se observa el caso contrario, donde inicialmente el ESS está inyectando desde las baterías una $I_{bat}=-6.25A$ y potencia de 1.5kW y recibe una solicitud por parte del MGCC de cambio de funcionamiento. El ESS recibe (MGCC; $Z_3=0$, $VC=0$ y $I_{Ch_ref}^*=6.2A$) por el cual cambia de inyectar 1.5kW hacia el bus DC desde las baterías, a absorber desde el bus DC 1.5kW para cargar las baterías.

En los resultados experimentales y de simulación se observa que la arquitectura de control planteada permite gestionar de manera adecuada la potencia del bus, mediante la aplicación del sistema de comunicaciones y el

intercambio de consignas entre el ESS y el MGCC. El MGCC puede manejar la funcionalidad del ESS en función de la cantidad de carga conectada o generada en el bus DC.

Se observa en la gráfica de la Fig. 10 que cambios bruscos de 3kW no produce distorsiones en la corriente de las baterías, ni transitorios que pueden afectar el sistema, es decir, el MGCC puede solicitar cambios bruscos en el flujo de potencia bidireccional y el ESS puede atender a esta petición sin poner en riesgo la estabilidad del sistema.

En la Fig. 7 se describe el funcionamiento del ESS como almacenamiento de energía y según el procedimiento de carga adecuado, que permite cargar las baterías de plomo ácido con seguridad y garantizando una vida útil elevada.

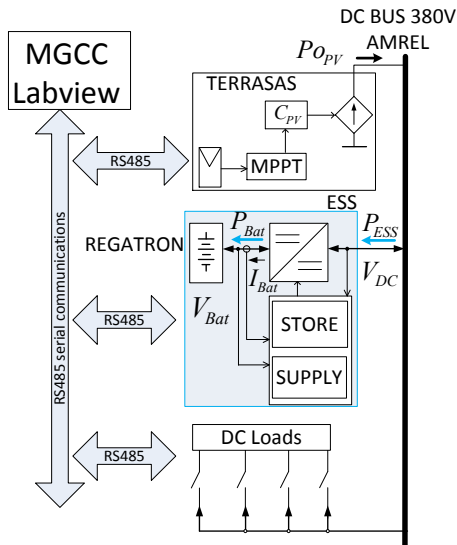


Fig. 9. Diagrama de conexión del ESS en la microrred DC.

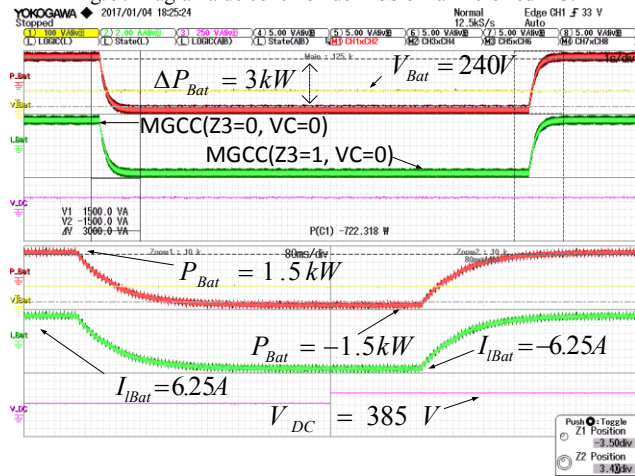


Fig. 10. Resultado experimental ante cambios bruscos de las consignas por parte del MGCC. Evolución de la corriente en baterías, tensión en las baterías, tensión en el bus DC y potencia en las baterías

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe las estrategias de control de un convertidor DC/DC de 3kW para almacenamiento de energía en baterías (ESS), el cual cuenta con un sistema de gestión de energía programado en un DSP TMS320F28335. El ESS tiene un sistema de comunicaciones serial RS485 que permite el acceso al

operador central MGCC a las variables críticas del sistema. La principal ventaja del ESS es que permite cargar y descargar las baterías a diferentes niveles de capacidad, y en función de la disponibilidad de energía del bus DC. También puede suministrar energía cuando el MGCC lo solicite, y sus controles internos están diseñados para ser inicializados a los valores de salida deseados, y de esta manera mantener la estabilidad del bus ante cualquier cambio en el flujo bidireccional de potencia entre la microrred y el ESS.

VI. AGRADECIMIENTOS

- Este trabajo ha sido financiado por el proyecto ENE2015-64087-C2-2-R del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), cofinanciado por fondos FEDER (Fondo Europeo para el desarrollo regional

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Michael Stadler , G. Cardoso, S. Mashayekh, T. Forget, N. DeForest, A. Agarwal, A. Schönbein. (2015). "Value streams in microgrids: A literature review". Applied Energy. (2013). 980-989
- [2] Z. Li, W. T. Power control of DC microgrid using DC bus signaling. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC) Twenty-Sixth Annual IEEE. (2011). 1926-1932
- [3] K. w. Hu, and C. M. Liaw. "On the flywheel/battery hybrid energy storage system for DC Microgrid". (IFEEC), 2013 1st International, 119-125. (2013).
- [4] R. Mallol, S. Salcedo, S. Jimenez, P. Díaz. "Optimal discharge scheduling of energy storage systems in MicroGrids based on hyper-heuristics". Renewable Energy. (2015). 13-24
- [5] Van-Tuan Doan, Van-Binh Vu, Hai-Nam Vu, Duc-Hung Tran, and Woojin Choi. "Intelligent Charger with Online Battery Diagnosis Function". 9th International Conference on Power Electronics-ECCE Asia June 1 - 5, (2015)
- [2] Xingguo Tan , Qingmin Li , Hui Wang. "Advances and trends of energy storage technology in Microgrid". Electrical Power and Energy Systems. (2013). 179-191
- [7] K. T. Tan, P. L. So, Y. C.Chu, and M. Z. Q. Chen. Coordinated Control and Energy Management of Distributed Generation Inverters in a Microgrid. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY. (2013). 704-713.
- [8] Wayne W. Weaver, Rush D. Robinett III, Gordon G. Parker, David G. Wi. "Distributed control and energy storage requirements of networked DC microgrids". Control Engineering Practice. (2015) 10-19
- [9] Ala A. Hussein, Abbas A. Fardoun. "Design considerations and performance evaluation of outdoor PV battery chargers". Renewable Energy. (2015). 85-91
- [10] TAB. Baterías estacionarias y solares OPzS. Batería 12V20PzS100. En línea el 15-09-2015. <http://www.tabspain.com/renovables/solar/baterias-opzs/>
- [11] Hooppecke. Instrucción de uso de baterías plomo ácido. En línea el 01-09-2015
- [12] TECNIBAT. En línea el 15-09-2015. <http://www.tecnibat.com/www/html/es/descargas/fichas/spc.pdf>