

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



II CONFERENCIA INTERNACIONAL DE DESARROLLO
ENERGÉTICO SOSTENIBLE 2019, CIDES,

**Diseño, Modelado y Simulación de un Sistema de Almacenamiento de
Energía Basado en Topología DAB-VSC**

*Design, Modeling and Simulation of Energy Storage System based on
DAB-VSC Topology*

**Cristóbal Ramírez-Ramos¹, Juan Ramón Rodríguez-Rodríguez², Nadia Maria
Salgado-Herrera^{3*}, Osvaldo Rodríguez-Hernández⁴, Oscar Jaramillo-Salgado⁵,
Emmanuel Hernández-Mayoral⁶.**

- 1- Cristóbal Ramírez-Ramos. Facultad de Ingeniería, Departamento de Energía Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: cristobal_ram@comunidad.unam.mx
- 2- Juan Ramón Rodríguez-Rodríguez. Facultad de Ingeniería, Departamento de Energía Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: jr_rodriguez@fi-b.unam.mx
- 3- Nadia Maria Salgado-Herrera. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: nasahe@ier.unam.mx
- 4- Osvaldo Rodríguez-Hernández. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: osroh@ier.unam.mx
- 5- Oscar Jaramillo-Salgado. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: ojs@ier.unam.mx
- 6- Emmanuel Hernández-Mayoral. Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: emhema@ier.unam.mx

Resumen: En este artículo se presenta el modelado y simulación de un sistema de almacenamiento de energía por baterías (BESS, por sus siglas en inglés) de 25kVA, el cual opera en conjunto con una carga dinámica residencial de 75kVA, con el propósito de analizar su desempeño en los cuatro cuadrantes de operación y así dar sustento a las ventajas operativas adquiridas. La particularidad del BESS DAB-VSC radica en la

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



utilización de los convertidores doble puente activo (DAB, por sus siglás en inglés) para el control de la potencia activa y como interfaz entre el banco de baterías y un puerto de CD y el convertidor fuente de voltaje (VSC, por sus siglás en inglés) para el control independiente de voltaje de CD y potencia reactiva en la red eléctrica. Este sistema permite el flujo bidireccional de potencia, de modo que puede almacenar energía cuando la generación es mayor que la demanda y suministrar energía cuando ocurre el caso contrario. Algunas de las funciones del BESS son: i) reducción del pico de demanda, ii) corrección del factor de potencia y iii) regulación de voltaje Volt/VAR. Los análisis en simulación y modelado en comparación con las distintas técnicas reportadas en la literatura científica demuestran el potencial tecnológico de este diseño, así como las ventajas técnicas en redes eléctricas de distribución con generación distribuida.

***Abstract:** This article presents the modeling and simulation of a battery energy storage system (BESS) of 25kVA, operating in conjunction with a dynamic residential load of 75kVA; analysing its performance in the four quadrants operation and thus sustain the acquired operational advantages. The BESS DAB-VSC particularity lies in the active double bridge converters (DAB) used for the active power control, and as an interface between the battery bank, DC-link and voltage source converter (VSC), generating an independent control of the DC voltage and reactive power in the electrical grid. The BESS system allows a bidirectional power flow, so that, it can store energy when the generation exceeds the demand, but if the opposite occurs the energy is supplied.*

Some of the BESS functions are: i) Demand peak reduction, ii) Power factor correction and iii) Volt/VAR voltage regulation. The simulation and modeling analysis demonstrate the technological potential of this design in comparison with the different techniques reported in the research literature, as well as, the technical advantages in distribution system and distributed generation.

Palabras Clave: sistemas de almacenamiento de energía; generación distribuida; energías renovables; compensación de potencia reactiva; control de potencia activa.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



Keywords: Energy Storage System; Distributed generation; renewable energy; reactive power compensation; active power control.

1. Introducción

A lo largo de las últimas décadas, ha sido evidente el incremento en la participación de las energías renovables dentro de las redes eléctricas en todos los niveles de potencia, un hecho principalmente impulsado por necesidades ambientales, la creciente demanda energética, así como el costo/beneficio que día a día ofrecen las energías renovables. La suma de dichas acciones tiende a cambiar el paradigma de la generación tradicional centralizada a partir de fuentes fósiles a modernas formas de generación distribuida o descentralizada basada en la integración de fuentes de energía renovable a menor escala [1]. Dicho lo anterior, es posible deducir que las fuentes de energía renovable pueden considerarse como elementos de perturbación en las redes convencionales debido su naturaleza intermitente [2], lo cual puede derivar en problemáticas de inestabilidad, que pueden ser de voltaje [3][4] y, a mayor escala, de frecuencia [5]. La solución incipiente para contrarrestar dichos eventos es, sin duda, la instalación de sistemas de almacenamiento de energía, los cuales tienen la capacidad de acumular el exceso de generación de energía en la red y devolver dicha energía durante los periodos de poca generación o alta demanda. Al contar con la característica de reserva energética, brindada por los sistemas de almacenamiento, se logran ventajas técnicas y económicas en las redes de transmisión y distribución [6], como: i) optimización de la integración de energías renovables e incremento de eficiencia de la generación existente, ii) soporte de estabilidad de voltaje, (regulación Volt/VAR), iii) reducción de problemas de congestión o saturación en líneas y transformadores, iv) reducción de la necesidad de instalar nuevas plantas de generación, v) soporte a la estabilidad de frecuencia, vi) amortiguador de precios, suministrando las reservas cuando las tarifas eléctricas se incrementen, vii) mejora a la calidad de la energía y viii) balance de potencia.

Hoy en día la forma más común de almacenamiento de energía a nivel transmisión, se realiza con las centrales hidroeléctricas de bombeo. Dicha técnica ha logrado satisfacer

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



algunas necesidades en la operación de la red, pero actualmente la factibilidad de implementación tiende a decaer, debido a: i) insuficiente capacidad para satisfacer la demanda energética actual, ii) limitación y grandes dimensiones de infraestructura en los sitios montañosos requeridos para el intercambio de volumen/altura, iii) alteración los ciclos hídricos, debido a los efectos del cambio climático [7]-[9]. Sin embargo, en la actualidad debido a los avances tecnológicos en la electrónica de potencia y elementos de almacenamiento electroquímico por baterías, existe la posibilidad de realizar dicha tarea a menor escala, con sistemas de conversión flexibles, de bajo costo y robustos, de modo que es posible tener una mayor cantidad de pequeños sistemas de almacenamiento distribuidos a lo largo de la red eléctrica. Lo cual, sin duda favorece la descentralización energética, la generación distribuida y la formación del concepto de red eléctrica inteligente. Por lo anterior, las tendencias tecnológicas de almacenamiento en la red eléctrica ahora apuntan a sistemas de pequeña y mediana escala como los sistemas de almacenamiento por baterías, mejor conocidos como BESS (Batería Energy Storage System). Actualmente los BESS se encuentran dentro de los sistemas más utilizados debido a su alta eficiencia, la cual está aproximadamente entre el 95-98%, gran velocidad de respuesta, no producen emisiones nocivas y requieren de un bajo mantenimiento debido a que no tienen partes mecánicas móviles [10].

2. Estado del Arte de Topologías BESS

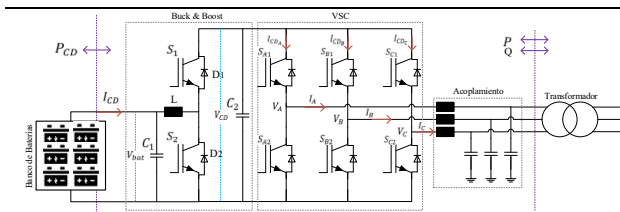
En la actualidad no existe una única tecnología capaz de satisfacer todos los requerimientos de almacenamiento de la red actual, por lo cual, una línea de exploración científica y tecnológica importante es analizar las capacidades de diferentes estructuras y topologías empleadas en el almacenamiento de energía, resaltando cuál de estas logra abarcar una serie de características a baja y mediana escala de potencia como: i) flujo de potencia bidireccional, ii) modularidad, iii) alta flexibilidad entre los niveles de tensión de las baterías y la red eléctrica, iv) alta capacidad de carga/descarga, v) alta eficiencia y vi) alta densidad de potencia. Entre los factores decisivos para la selección de la topología

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

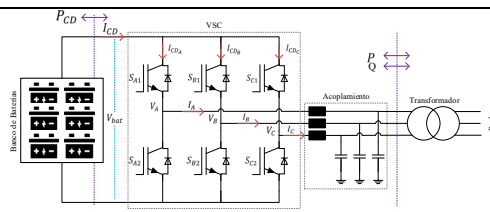
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

de cualquier sistema de almacenamiento de energía, deben de considerarse inicialmente los parámetros eléctricos de voltaje y corriente del BESS, la relación de voltajes de CA y CD y la capacidad A/hr de las baterías teniendo en cuenta siempre una velocidad de respuesta aceptable para la aplicación final [11].

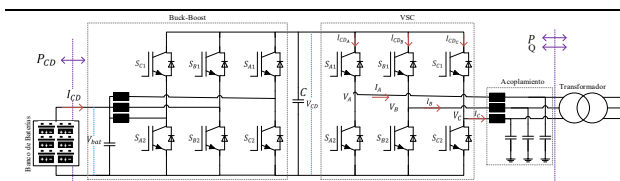
BESS con Convertidor Buck-Boost y VSC



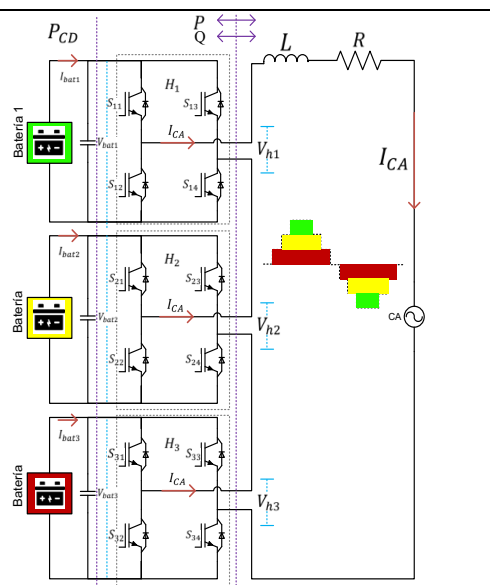
BESS con Convertidor VSC.



BESS con Convertidor Buck-Boost Triple y VSC.



BESS con Convertidor Celdas en Cascada.



BESS con Convertidor Modular Multinivel.

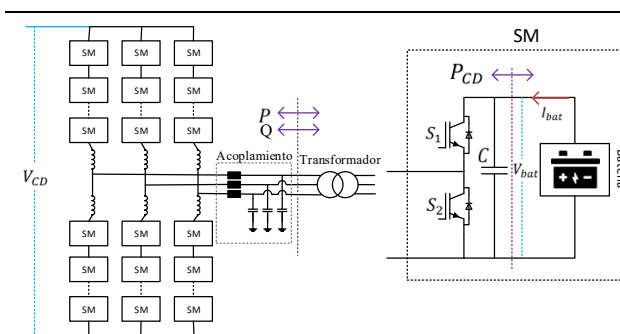


Figura 1. Topologías Comunes de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías.

La Figura 1. muestra una serie de topologías comunes aplicadas a los sistemas de almacenamiento de energía por baterías. En este contexto, el convertidor más frecuentemente implementado es el VSC, en donde las terminales de CA de dicho convertidor se conectan a la red a través de un transformador. Por otra parte, el banco de baterías se integra directamente al puerto de CD de un VSC o a través de una etapa de conversión CD/CD. En ambos casos, se requiere de arreglos de baterías conectadas en

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

serie y paralelo a fin de mantener el voltaje y la corriente necesaria en el bus de CD. Sin embargo, las largas configuraciones en serie son susceptibles a problemas de confiabilidad, ya que el deterioro individual de una sola batería puede resultar en la pérdida de una gran parte de la capacidad del BESS. Para aumentar la confiabilidad es preferible usar cadenas en serie más cortas y aumentar los módulos en paralelo.

3. Sistema de baterías con Convertidor DAB y VSC

A diferencia de las topologías con aislamiento galvánico entre el convertidor y las baterías, las topologías no aisladas utilizan circuitos adicionales para proteger el banco de baterías de cualquier transitorio, lo cual se implementa mediante fusibles. Para superar los inconvenientes de los controladores de carga no aislados, es conveniente usar un convertidor con transformador de alta frecuencia lo cual también permite establecer una relación de tensión más grande aumentando así la flexibilidad y compatibilidad de interconexión entre los puertos de CD, haciendo posible utilizar baterías de bajo voltaje con mayores etapas en paralelo, para este fin la mejor opción es el convertidor Dual-Active-Bridge en conjunto con el convertidor VSC, como se muestra en la Figura 2.

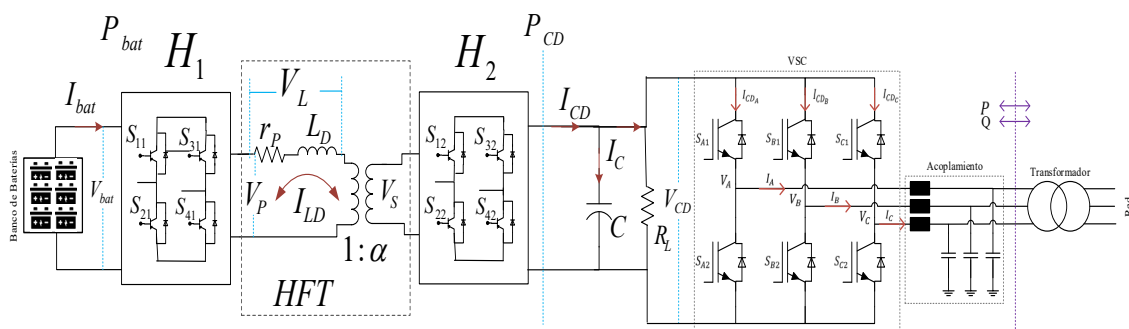


Figura. 2. Sistema de baterías con Convertidor DAB y VSC.

Debido a la mayor cantidad de piezas (semiconductores y componentes magnéticos), se espera que la solución aislada sea más costosa y menos eficiente que el controlador de carga no aislado. Sin embargo, al utilizar las últimas tecnologías IGBT en conjunto con las técnicas de modulación, es posible reducir las pérdidas de semiconductores y obtener así niveles de eficiencia superiores al 95%, junto a una gran flexibilidad de conversión entre los niveles de tensión de batería y tensión en el puerto de CD del VSC.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

4. Modelado del BESS

Los BESS generalmente utilizan baterías de iones de litio (Li-Ion) por su alta densidad de energía (debida a la elevada tensión de salida), alta eficiencia, largo ciclo de vida y bajo impacto en el ambiente. Estas características son claves para su aplicación en la red, así como para la viabilidad económica del sistema de almacenamiento [12]. El modelo utilizado para la batería de Li-Ion es el siguiente:

Modelo de descarga ($i^* > 0$)

$$f_1(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (1)$$

Modelo de carga ($i^* < 0$)

$$f_2(it, i^*, i) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + A \cdot \exp(-B \cdot it) \quad (2)$$

Donde E_0 es un voltaje constante, en V; K es una constante de polarización, en Ah-1; i^* es la dinámica de la corriente de baja frecuencia, en A; i es la corriente de la batería, en A; Q es la capacidad máxima de la batería, en Ah; A es un voltaje exponencial, en V; B es una capacidad exponencial, en Ah-1; it es la capacidad de extracción, en Ah.

En la Figura 3 se muestra el modelo eléctrico de batería equivalente, el cual es descrito por (1) y (2) y no considerados los efectos de envejecimiento y de temperatura en la batería ya que, para efectos prácticos de este trabajo, no son relevantes.

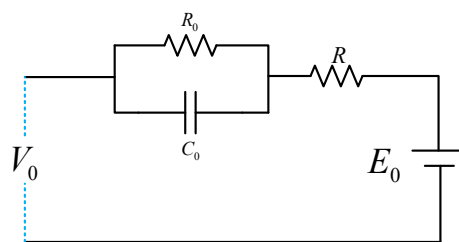


Figura. 3. Modelo eléctrico equivalente de una batería

A.- Modelo de DAB

El DAB posee, por lo general, una topología de doble puerto, y cada puerto consiste en un puente-H completo, enlazados a través de un transformador de alta frecuencia como se muestra en la Figura. 4. Los puentes-H cuentan con dos parámetros que caracterizan su funcionamiento y a través de los cuales se implementa el control. Estos son el desplazamiento de fase (ϕ_D) y el ancho de pulso (μ).

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

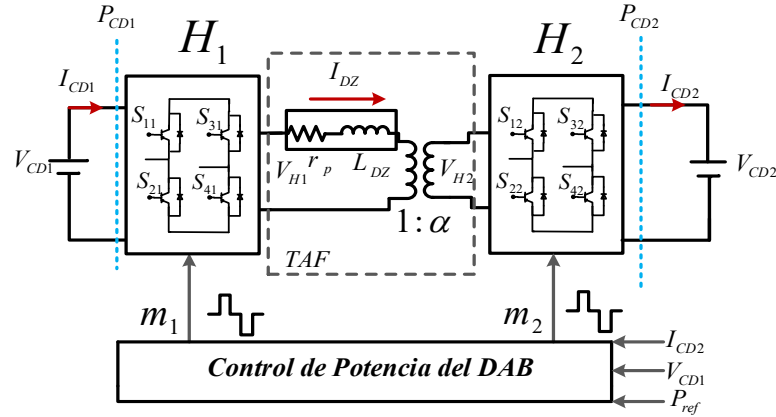


Figura 4. Topología de Doble Punteo Activo

En el esquema de modulación SPSC (Single Phase Shift Control) se operan los dos puentes-H con un ciclo de trabajo de $\mu=50\%$ para poder generar voltajes puramente rectangulares en V_{H1} y V_{H2} . La transferencia de potencia es controlada con el ángulo de fase ϕ_D entre V_{H1} and V_{H2} , de la misma forma que la operación convencional [13].

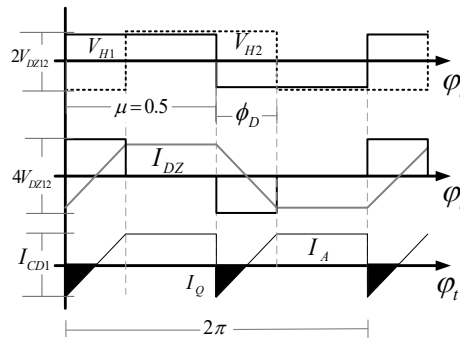


Figura 5. Modulación SPSC ($D_\mu = 0$).

Considerando un esquema PWM de dos niveles de voltaje para el módulo puente-H, los voltajes V_{H1} y V_{H2} se pueden definir de acuerdo con los estados de conmutación de la forma siguiente:

$$V_{H1} = (S_{11} - S_{31})V_{CD1} \approx m_1 * V_{CD1} \quad (3)$$

$$V_{H2} = (S_{12} - S_{32})V_{CD2} \approx m_2 * V_{CD2} \quad (4)$$

Con base en las formas de onda mostradas en la Figura. 5, es posible determinar el modelo matemático del DAB con modulación SPSC, obtenido de [14]. Resolviendo el circuito de CA del DAB es posible describir el modelo del convertidor como:

$$I_{DZ}(s) = \frac{V_{DZ}(s)}{sL_{DZ} + r_p} \quad (5)$$

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

De la misma forma, si se considera la ecuación $I_{CD2} = m_2 \cdot I_{DZ}$, la corriente $I_{CD2}(s)$ presente en el puerto de V_{CD2} puede representarse en el dominio de la frecuencia como:

$$I_{CD2}(s) = \frac{m_2(s) \cdot V_{DZ}(s)}{sL_{DZ} + r_p} \quad (6)$$

De esta forma, sabiendo que la excitación para la producción de $I_{CD2}(s)$ es directamente proporcional a $m_2(s) \cdot V_{DZ}(s)$, es posible realizar una sustitución de variable como: $u(s) \approx m_2(s) \cdot V_{DZ}(s)$, donde ahora la ecuación (6), puede describirse como:

$$H(s) = \frac{I_{CD2}(s)}{u(s)} \approx \frac{1}{s + \frac{r_p}{L_{DZ}}} \quad (7)$$

A fin de obtener un lazo de retroalimentación capaz de controlar la potencia activa bidireccional en el convertidor DAB, a partir de la corriente $I_{CD2}(s)$, es necesario proponer un compensador $k(s)$ de la forma que el esquema de controles el siguiente:

$$k(s) = \left[\frac{k_p}{s} \left(s + \frac{k_i}{k_p} \right) \right] \quad (8)$$

En la Figura 6 se muestra el lazo de retroalimentación de corriente, el cual se implementa utilizando I_{CD2_ref} como referencia constante para controlar la salida de corriente en el puerto V_{CD2} .

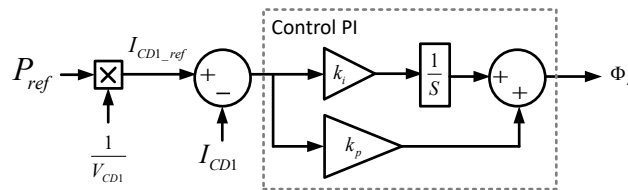


Figura. 6. Control de Lazo Cerrado.

Este esquema mantiene la regulación de potencia de CD para un amplio rango de valores bidireccionales usando un solo PI.

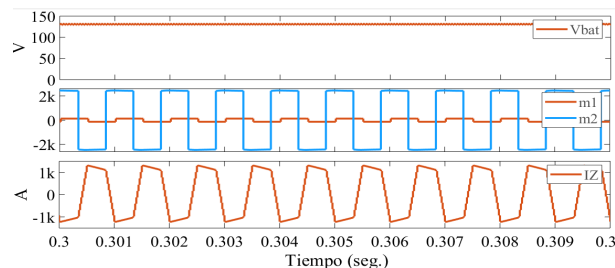


Figura. 7. Variables del DAB.

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

En la Figura. 7. se muestra el comportamiento las variables más representativas del DAB para una prueba en lazo abierto. Estas son el voltaje en la batería a la que se conecta, las señales moduladoras de los puentes H y la corriente en la inductancia parásita del transformador de alta frecuencia.

B.- Modelo del VSC

La topología usual de un VSC trifásico de dos niveles consiste básicamente de tres estructuras de medio puente-H idénticas, conocidas como puente trifásico de seis pulsos, como se observa en la Figura 8. Esta topología puede tener dos niveles de voltaje, $-V_{CD}$ y V_{CD} , en sus salidas (t_i).

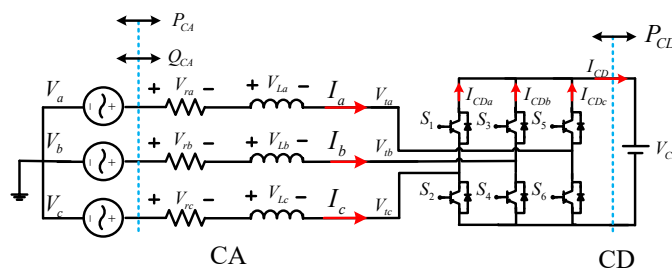


Figura. 8. Convertidor VSC Trifásico de Seis Pulsos, conectado a la red.

Si la frecuencia de conmutación de los dispositivos IGBT es, por lo menos diez veces mayor que la frecuencia fundamental del sistema de CA, entonces los eventos de conmutación se pueden representar por convertidores VSC de conmutación promediada (modelo promediado), resultando en una mejora significativa de la velocidad de simulación [15].

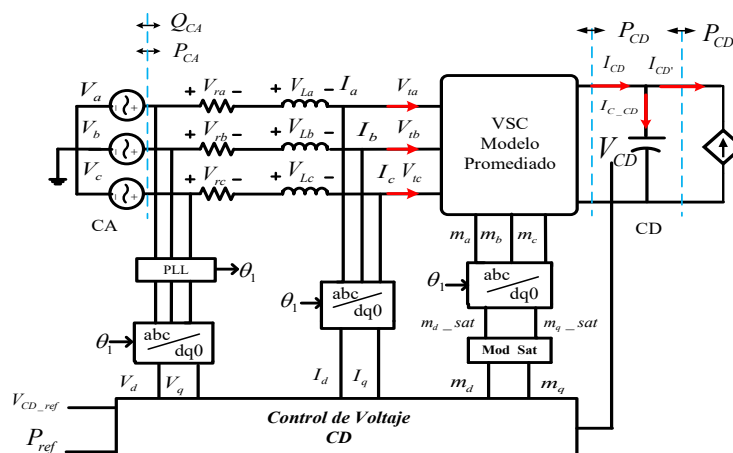


Figura. 9. Diagrama esquemático del control de voltaje de un convertidor trifásico VSC

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

El modo de control de voltaje como el que se observa en la Figura. 9, se aplica en operaciones y procesos de alto voltaje, generalmente industriales, es un método sencillo que posee pocos lazos de control. Sin embargo, uno de sus principales problemas es la ausencia de un lazo cerrado de control de corriente.

En la vida real las fuentes de CD ideales no existen, pero se puede simular su operación controlando la energía de un capacitor. En la Figura. 9 se representa un capacitor ideal sometido a la sumatoria de corrientes ($I_{C_CD} = I_{CD} - I_{CD}'$). La energía almacenada en el capacitor C del lado de CD es:

$$W_{CD} = \frac{1}{2} C * V_{CD}^2 \quad (9)$$

Donde W_{CD} depende de la potencia de entrada al circuito de CD, P_{CD} , y la potencia a la salida, P_{CD}' , esto es:

$$\frac{dW_{CD}}{dt} = \frac{1}{2} C \frac{dV_{CD}^2}{dt} = -P_{CD}(t) - P_{CD}'(t) \quad (10)$$

$P_{CD}(t)$ se define como:

$$P_{CD}(t) = I_{CD}(t) * V_{CD}(t) \quad (11)$$

$P_{CD}'(t)$ se define como:

$$P_{CD}'(t) = I_{CD}'(t) * V_{CD}(t) \quad (12)$$

Resolviendo (11) y (12) para V_{CD} , y aplicando la transformada de Laplace se obtiene:

$$W_{CD}(s) = \frac{-P_{CD} - P_{CD}'}{\frac{1}{2}sC} \quad (13)$$

El modelo de la planta $W_{CD}(s)$, dado por (13), puede complementarse con un controlador $k_v(s)$, de modo que se pueda cerrar el lazo de control en el sistema.

$$k_v(s) = - \left((V_{CDref})^2 - (V_{CD})^2 \right) \left[k_{vp} \frac{(s + k_{vi}/k_{vp})}{s} \right] \quad (14)$$

En la Figura. 10 se muestra el diagrama de control de voltaje implementado al modelo del VSC que se muestra en la Figura. 9.

En la Figura. 11. se muestra el comportamiento de algunas de las variables más representativas del VSC para una prueba en lazo cerrado que obedece a una potencia de referencia escalonada. Como se puede observar en la figura, el VSC permite el flujo bidireccional de potencia y mantiene un voltaje constante en el puerto de CD.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

implementado en el sistema opera con una tensión de 120 V en el puerto de CD que se conecta al banco de baterías y con una tensión de 2400 V en el puerto de CD que se conecta al VSC. La frecuencia de conmutación del DAB es de 1000 Hz. Por último, el esquema de simulación propuesto utiliza el modelo promediado del VSC, que permite acoplar el puerto de CD del DAB a la red de CA, es decir, hace las veces de inversor cuando la energía fluye del banco de baterías a la red y funciona como rectificador para el caso contrario.

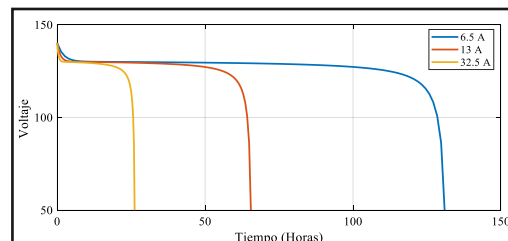


Figura. 13. Curvas de voltaje de la batería.

6. Operación en Conjunto con una carga dinámica

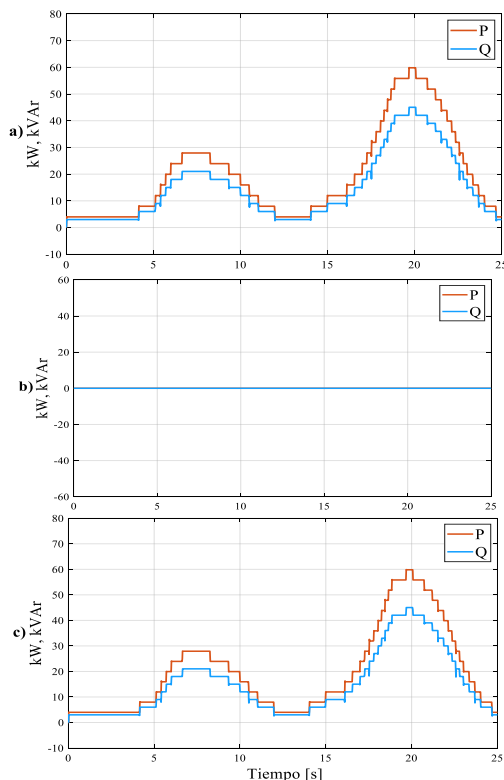


Figura. 14. Red con BESS fuera de operación.

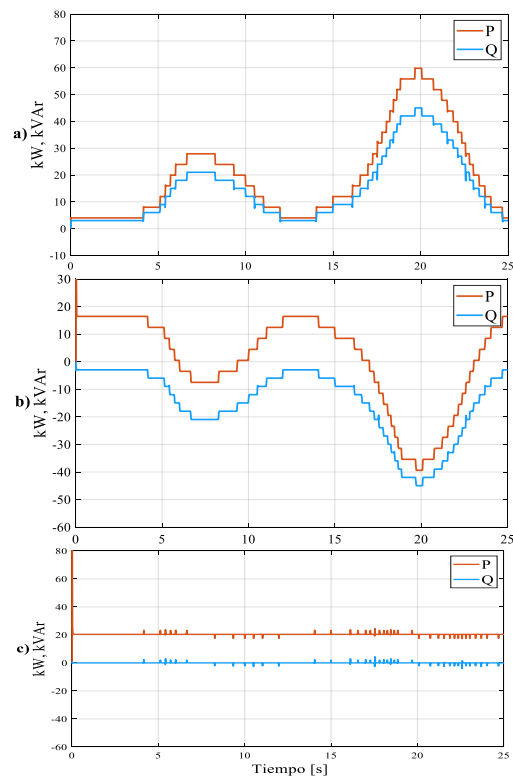


Figura. 15. Red con BESS en operación.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Las simulaciones desarrolladas en este capítulo parten de la operación del sistema conectado a una carga dinámica residencial. Las curvas de la Figuras. 14a) y 15a) muestran el comportamiento de las potencias vistas desde el nodo de carga. En el caso de las curvas mostradas en las mismas Figuras. 14b) y 15b), se observa la inyección de potencia que realiza el BESS. Finalmente, en las curvas de las Figuras. 14c) y 15c) se puede observar el comportamiento de la potencia vista desde la red, es decir, el comportamiento en conjunto del BESS y la carga. Con la operación del BESS dentro de la red eléctrica, como se observa en la Figura. 15, se reduce la curva de demanda de potencia, a la vez que se corrigió el factor de potencia llevándolo a un valor unitario. De esta forma se demuestra que el sistema permite el flujo bidireccional de potencia y cumple con las características deseadas.

6. Conclusiones

Con el rumbo actual del crecimiento de la demanda energética, aunado a los problemas ambientales cada vez más severos, resulta imperativo el desarrollo e implementación de tecnologías que brinden soluciones eficientes a las problemáticas de la red y del ambiente. Dentro de las diferentes propuestas que existen para atacar estos problemas, el almacenamiento energético sobresale de las demás por la importancia de las ventajas operativas que aporta a las redes eléctricas. Sin embargo, aún no existe una única tecnología que sea capaz de satisfacer todos los requerimientos de almacenamiento de la red actual, por lo que es necesario el desarrollo de sistemas de alto grado de eficiencia, que puedan cargarse y descargarse con frecuencia, que no alteren los parámetros de la red y que sean de bajo costo. En este contexto, el concepto de almacenamiento de energía con baterías es un tema que resulta de gran interés para la ingeniería eléctrica, y en general para la comunidad científica, el cual ha sido estudiado y desarrollado durante las últimas décadas, englobando tópicos de optimización de energías renovables, estrategias de balance y estabilidad en las redes eléctricas, desarrollo de microrredes y redes eléctricas inteligentes, entre otros.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

7. Referencias

- [1] G. Delille, B. Francois, G. Malarange, and J.-L. Fraisse, “Energy storage systems in distribution grids: New assets to upgrade distribution network abilities,” in Proc. 20th Int. Conf. Exhib. Elect. Distrib., I, Prague, Czech Republic, Jun. 2009, pp. 1–4.
- [2] A. Hanif, Y. Yu, D. Devoto and F. H. Khan, "A Comprehensive Review toward the State-of-the-Art in Failure and Lifetime Predictions of Power Electronic Devices," in *IEEE Transactions on Power Electronics*.
- [3] Confronting the Duck Curve: How to Address Over-Generation of Solar Energy. (October 12, 2017). Office of Energy & Renewable Energy. <http://www.energy.gov/eere/articles/confronting-duck-curve-how-address-over-generation-solar-energy>.
- [4] St. John (February 10, 2014). GTM: A Wood Mackenzie Business. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/hawaii-solar-grid-landscape-and-the-nessie-curve#gsc0Y1aE>
- [5] The German 50.2 Hz problem. Knowing power contribution from PV systems and how to manage risk through system testing on top of component testing. DNV. GL. <https://www.dnvgl.com/cases/the-german-50-2hz-problem-80862>
- [6] M. T. Lawder et al., "Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications," in Proceedings of the IEEE, vol. 102, no. 6, pp. 1014-1030, June 2014. doi: 10.1109/JPROC.2014.2317451
- [7] Nguyen, T.D., Tseng, K.J., Zhang, S., et al.: ‘A novel axial flux permanent magnet machine for flywheel energy storage system: design and analysis’, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2011, 58, (9), pp. 3784–3794.
- [8] Deane, J.P., McKeogh, E.J., Gallachoir, B.P.O.: ‘Derivation of intertemporal targets for large pumped hydro energy storage with stochastic optimization’, *IEEE Trans. Power Syst.*, 2013, 28, (3), pp. 2147–2155.
- [9] Le, H.T., Santoso, S.: ‘Operating compressed-air energy storage as Dynamic reactive compensator for stabilising wind farms under grid fault conditions’, *IET Renew. Power Gener.*, 2013, 7, (6), pp. 717–726.
- [10] Mostafa Farrokhabadi, Bharatkumar V. Solanki, Claudio A. Cañizares, Kankar Bhattacharya, Sebastian König, Patrick S. Sauter, Thomas Leibfried, and Sören Hohmann, (2017), Energy Storage in Microgrids: Compensating for Generation and Demand Fluctuations While Providing Ancillary Services, in *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 15, no. 5, pp. 81-91, Sept.-Oct. 2017.
- [11] G. Wang et al., "A Review of Power Electronics for Grid Connection of Utility-Scale Battery Energy Storage Systems," in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1778-1790, Oct. 2016.
- [12] Xiaosong Hu, Changfu Zou, Caiping Zhang, Yang Li, “Technological Developments in Batteries,” 2017 *IEEE power and energy magazine*, 1540-7977/17©2017IEEE.
- [13] Juan Ramón Rodríguez Rodríguez, Edgar L. Moreno-Goytia, Vicente Venegas-Rebollar, Luis E. Ugalde-Caballero, G.A. Anaya-Ruiz, “The Proportional-Values Modulation (PVM), a technique for improving efficiency and power density of bidirectional DAB converters”, Ingeniería Eléctrica, Instituto Tecnológico de Morelia, Morelia, Michoacán, México.
- [14] Biao Zhao, Qiang Song, Wenhua Liu, Yandong Sun, Overview of dual-active-bridge isolated bidirectional DC–DC converter for high-frequency-link power-conversion system, *IEEE Trans. Power Electron.* 8(29) (2014) 4091–4106.
- [15] Wenze Liu; Zexiang Cai, "Model analysis and robust control design of VSC-HVDC converter with dq0 axis," Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2008. DRPT 2008. Third International Conference on, vol., no., pp.1792,1796, 6-9 April 2008.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu