

CONVERTIDOR CD/CD MULTI-ENTRADA CON RESPALDO DE BATERÍAS PARA APLICACIONES RENOVABLES

Gabriela Lara

Tecnológico Nacional de México en Celaya
glarasy@gmail.com

Nimrod Vázquez

Tecnológico Nacional de México en Celaya
n.vazquez@ieee.org

Claudia Hernández

Tecnológico Nacional de México en Celaya
cvhg@ieee.org

Héctor López

Tecnológico Nacional de México en Celaya
hector.lopez@itcelaya.edu.mx

Jaime Arau

Tecnológico Nacional de México en Celaya
jarau@cenidet.edu.mx

Resumen

Los paneles fotovoltaicos (PV por sus siglas en inglés) se conectan, tradicionalmente, en módulos para incrementar la potencia del sistema; y para obtener el punto de máxima potencia se puede utilizar ya sea un convertidor en cada panel o un convertidor de múltiples entradas en el que puede controlarse de manera independiente cada una de ellas. En este artículo se propone una

topología multi-entradas, basada en el convertidor Flyback, el cual podría regular de manera independiente cada una de las entradas, además de permitir la carga/descarga de una batería para funcionar en modo respaldo.

El convertidor propuesto es descrito y simulado con el propósito de demostrar su factibilidad.

Palabra(s) Clave(s): Cargador/descargador de baterías, Convertidor Flyback, Fuente de energía renovable, Topología multi-entrada.

Abstract

Photovoltaic PV panels are traditionally arranged in more than one modules in order to increase the power system; however in this configuration with the purpose of obtain the maximum power point a converter for each panel could be used, or a multi-input converter that is able to control independently each input. In this paper is proposed a multi-input topology based on the Flyback converter, which should have the capability of regulate independently each input, but also the proposal provides the battery charger/discharger function as backup.

The proposed converter is described and simulated, showing its feasibility.

Keywords: Battery Charger/discharger, *Flyback converter*, *Multi-input topology*, *Renewable energy source*.

1. Introducción

Debido a la importancia que tiene evitar la dependencia de los combustibles fósiles y la conservación del planeta, se ha incrementado la necesidad de utilizar fuentes de energía renovables, entre las que se encuentran la solar, biomasa, eólica, geotérmica y marítima [5]. La literatura muestra el incremento en el uso de estas fuentes considerando diferentes topologías de múltiples entradas [1, 2, 3, 4, 5].

Para incrementar la potencia en aplicaciones con paneles fotovoltaicos es necesario utilizar más de un módulo; sin embargo, al estar estos conectados en serie o paralelo, el punto de máxima potencia no puede seguirse adecuadamente debido a las diferencias entre ellos o a condiciones externas. Para asegurar una

mejor operación de los PV se sugiere utilizar un convertidor para cada módulo o considerar un convertidor multi-entrada [6].

En [6], figura 1, se presenta una topología que tiene una fuente renovable y una batería, los tres interruptores con sus diferentes combinaciones permiten al convertidor trabajar en cuatro modos de operación:

- Sólo la fuente renovable entrega energía a la carga.
- Sólo la batería entrega energía a la carga.
- Ambas fuentes entregan energía a la carga
- La fuente renovable carga la batería.

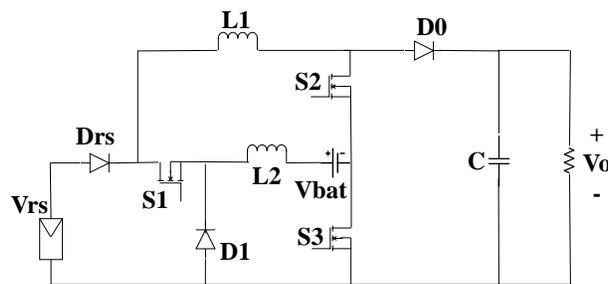


Figura 1 Topología propuesta en [6].

La topología tiene dos convertidores: el primero puede ser considerado como una etapa de elevación, la principal, y el segundo es una etapa de reducción.

En [7], figura 2, la topología presentada utiliza una fuente renovable como la principal y una batería como auxiliar, lo que mantiene constante el flujo de energía hacia la salida. Está basada en un convertidor elevador.

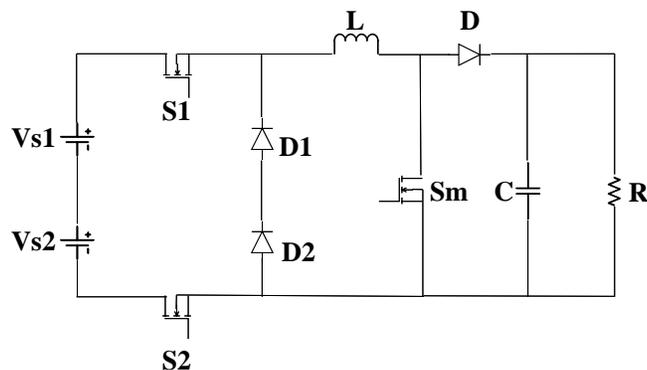


Figura 2 Topología propuesta en [7].

La potencia de entrada varía debido a que la entrada principal depende de la fuente renovable. Si la fuente principal trabaja adecuadamente, puede entregar energía a la carga y si no está disponible, la batería es quien la entrega. Si ambas fuentes trabajan adecuadamente, las dos pueden entregar energía a la carga.

En [8], figura 3, se presenta un sistema de alimentación ininterrumpible con corrección del factor de potencia, baja distorsión armónica total y buena respuesta dinámica en el voltaje de salida. Tiene dos etapas, la primera es un cargador de baterías basado en un convertidor Flyback, que permite tener un alto factor de potencia y aislamiento entre la carga y la entrada; la segunda etapa es una topología de inversor con características de elevación.

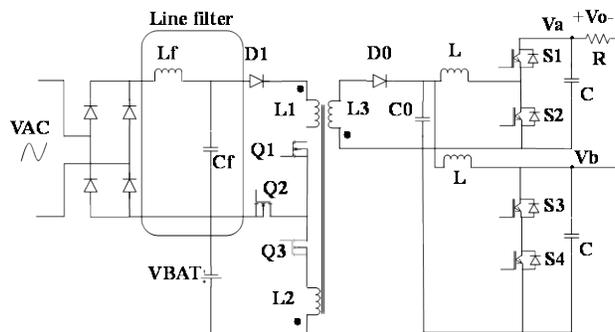


Figura 3 Topología propuesta en [8].

La primera etapa de esta topología permite tener múltiples fuentes de energía renovable como entradas, debido al uso de inductores acoplados; además si alguna o todas las fuentes son deshabilitadas por cualquier razón, la energía es proporcionada por las baterías de respaldo que también son cargadas por las fuentes de entrada.

En este artículo se propone una variación de la topología propuesta en [8], que permite tener más de una entrada además de la batería de respaldo. El convertidor está orientado para su uso en aplicaciones renovables.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe y analiza el convertidor propuesto, en la sección 3 se presentan los resultados de simulación y finalmente las conclusiones.

2. Métodos

Topología Propuesta

El convertidor propuesto se basa en la topología Flyback, sin embargo se permiten múltiples entradas así como el respaldo de baterías; las fuentes de entrada pueden ser usadas para entregar energía a la carga de manera simultánea o independiente y cualquiera de las fuentes puede cargar la batería.

En la figura 4 se muestra la topología propuesta, la cual tiene dos fuentes de energía renovable (V_{s1} y V_{s2}) como entrada y un respaldo de batería (V_{bat}), además de los interruptores S_{w1} al S_{w5} que permiten controlar al convertidor. Una o ambas fuentes pueden entregar energía a la carga o a la batería si ésta se encuentra descargada. Si no están disponibles las fuentes, la batería es quien entrega energía a la carga.

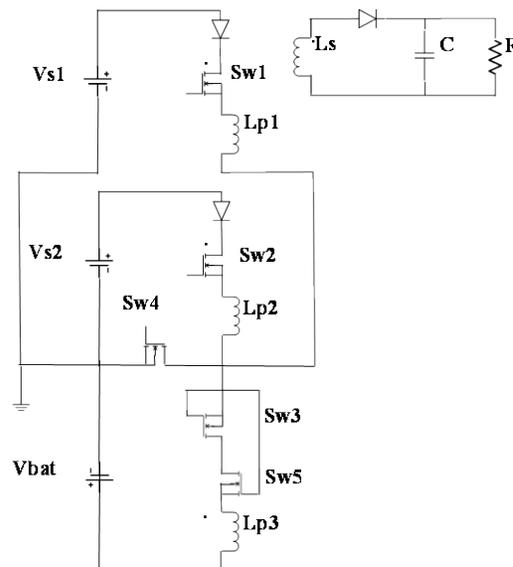


Figura 4 Topología propuesta.

Modos de Operación

La topología tiene tres diferentes modos de operación que son descritos a continuación:

- *Modo 1.* Este modo de operación se utiliza para entregar energía de las fuentes de entrada a la carga, el interruptor S_{w4} se enciende y S_{w3} se

apaga, S_{w1} y S_{w2} están conmutando y pueden ser operados de forma alternada. En la figura 5 se muestra el circuito equivalente de este modo de operación.

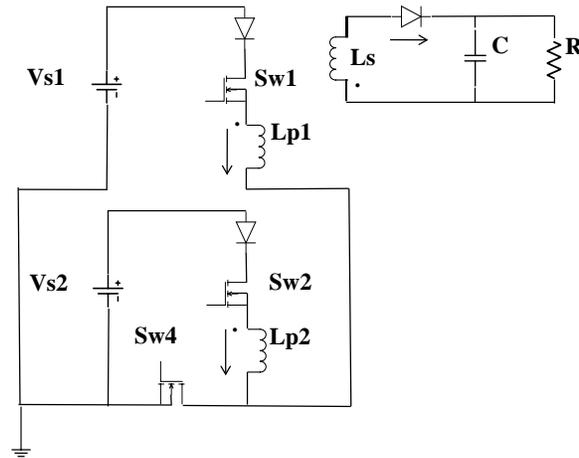


Figura 5 Circuito equivalente para el modo de operación 1.

Para este modo de operación:

- ✓ V_{s1} y V_{s2} entregan energía a la carga
- ✓ V_{bat} no se usa
- ✓ S_{w1} y S_{w2} controlan la transferencia de energía
- ✓ S_{w3} está apagado
- ✓ S_{w4} está encendido
- ✓ S_{w5} está apagado

Las ecuaciones para este modo son:

$$\frac{di_{Lp2}}{dt} = \frac{V_{s2}}{L_{p2}} d_{s2} \quad (1)$$

$$\frac{di_{Lp1}}{dt} = \frac{V_{s1}}{L_{p1}} d_{s1} \quad (2)$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{2N} i_{Lp1} (1 - d_{s1}) + \frac{1}{2N} i_{Lp2} (1 - d_{s2}) - \frac{v_o}{RC} \quad (3)$$

Donde:

$$N = N_{Ls} / N_{Lp1}$$

$$N_{Lp1} = N_{Lp2}$$

i_{LP1} = Corriente referida al primario 1 del transformador

i_{LP2} = Corriente referida al primario 2 del transformador

v_O = Tensión de salida

L_{P1} = Inductancia del primario 1 del transformador

L_{P2} = Inductancia del primario 2 del transformador

C = Capacitancia de salida

R = Resistencia de carga

$ds1$ = Ciclo de trabajo del interruptor S_{w1}

$ds2$ = Ciclo de trabajo del interruptor S_{w2} ,

- *Modo 2.* Este modo de operación se utiliza para cargar el respaldo, formado por el conjunto de baterías, con una de las fuentes de entrada, alimentando también la carga; el interruptor S_{w4} se apaga, S_{w3} se enciende y los interruptores S_{w1} o S_{w2} están conmutando. En la figura 6 se muestra el circuito equivalente para este modo de operación, con S_{w1} conmutando y S_{w2} apagado, pero puede operarse de forma inversa.

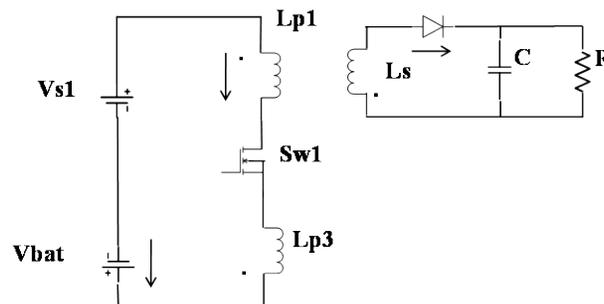


Figura 6 Circuito equivalente para el modo de operación 2.

Para este modo de operación, de acuerdo a la figura 6:

- ✓ La batería es cargada
- ✓ V_{s1} entrega energía a la carga y a la batería
- ✓ V_{s2} no se usa

- ✓ Sw1 controla la transferencia de energía
- ✓ Sw2 está apagado
- ✓ Sw3 está encendido
- ✓ Sw4 está apagado
- ✓ Sw5 está encendido

Las ecuaciones para este modo son:

$$\frac{di_{Leq}}{dt} = \frac{V_{s1} - V_{bat}}{L_{eq}} d_{s1} \quad (4)$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{N_{eq}} i_{Leq} (1 - d_{s1}) - \frac{v_o}{RC} \quad (5)$$

Donde:

$$L_{eq} = (1-N)^2 L_{P1}$$

$$N_{eq} = N_{Ls} / (N_{Lp1} - N_{Lp3})$$

- *Modo 3.* Este modo de operación se utiliza como respaldo, es decir que la batería se usa para entregar energía a la carga; el interruptor Sw4 se enciende, Sw3 y Sw5 están conmutando, mientras que Sw1 y Sw2 se apagan. En la figura 7 se muestra el circuito equivalente.

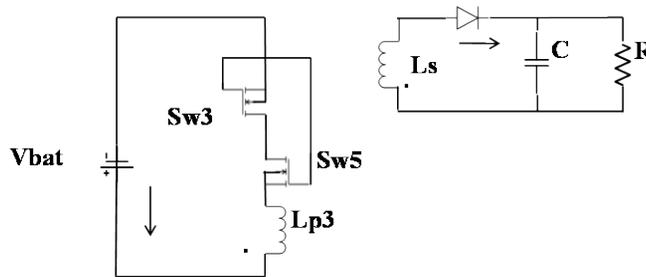


Figura 7 Circuito equivalente para el modo de operación 3.

Para este modo de operación, de acuerdo a la figura 7:

- ✓ VBat entrega energía a la carga
- ✓ Vs1 y Vs2 no están disponibles
- ✓ Sw3 y Sw5 controlan la transferencia de energía
- ✓ Sw1 está apagado

- ✓ Sw2 está apagado
- ✓ Sw4 está encendido

Las ecuaciones para este modo son:

$$\frac{di_{Lp3}}{dt} = \frac{V_{s1} - V_{bat}}{L_{p3}} d_{sbat} \quad (6)$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{N_{bat}} i_{Lp3} (1 - d_{sbat}) - \frac{v_o}{RC} \quad (7)$$

Donde:

$$N_{bat} = N_{Ls} / N_{Lp3}$$

$$d_{sbat} = \text{Ciclo de trabajo de los interruptor } Sw_3 \text{ y } Sw_5$$

- **Ecuaciones de Diseño**

Para calcular los elementos de la topología propuesta se utilizan las ecuaciones básicas de diseño [1, 2, 3]:

$$R = \frac{v_o^2}{P} \quad (8)$$

$$C \geq \frac{D}{Rf \frac{\Delta v_o}{v_o}} \quad (9)$$

$$i_{LP} = \frac{V_s D}{(1-D)^2 R} \quad (10)$$

$$\Delta i_{LP} = \% i_L \quad (11)$$

$$L_{P1} = \frac{V_s D}{\Delta i_L f} \quad (12)$$

$$L_{eq} = (1-N)^2 L_{P1} \quad (13)$$

Donde:

L_p = Inductancia del primario.

L_{eq} = Inductancia equivalente entre L_{p1} y L_{p3}

D = Ciclo de trabajo

V_s = Voltaje de entrada

V_o = Voltaje de salida

f = Frecuencia de conmutación

R = Resistencia de carga

N = N_s/N_p

i_{LP} = Corriente en el inductor del primario

Δi_{LP} = Rizo de corriente en el inductor del primario.

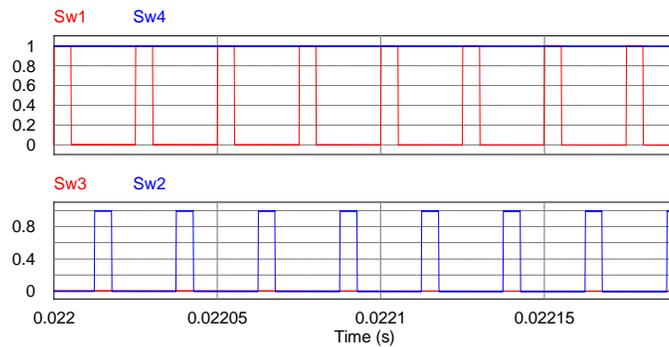
3. Resultados

Con el propósito de comprobar la idea propuesta se diseñó y simuló el convertidor, los parámetros de diseño se muestran en la tabla 1.

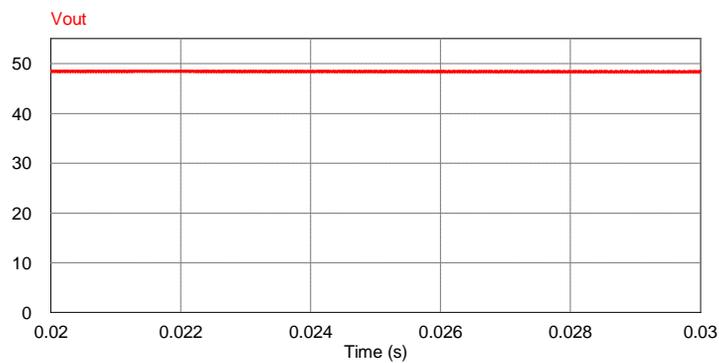
Tabla 1 Parámetros de diseño.

V_s	67 V
P_{max} of PV	60 W
Frecuencia	40 kHz
Tensión de baterías	12V
ΔV_o	1%
V_o	48V
R	38.4 Ω
C	32.9 μ H
L_{P1} and L_{P2}	1.6 mH
L_{P3}	52.26 μ H
L_s	1.6 mH

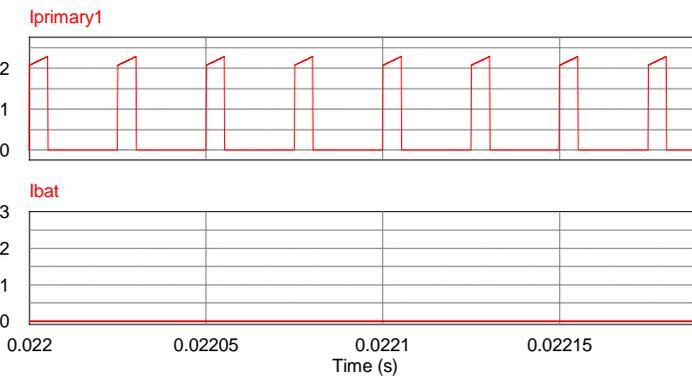
Modo 1. En este modo de operación V_{s1} y V_{s2} entregan energía a la carga, mientras que S_{w1} y S_{w2} conmutan de acuerdo a las señales mostradas en la figura 8a. La señal superior corresponde a S_{w1} y la inferior a S_{w2} . La figura 8b muestra el voltaje de salida y la 8c muestra la corriente de inductor del primario y la corriente de batería.



a) Señales de control.



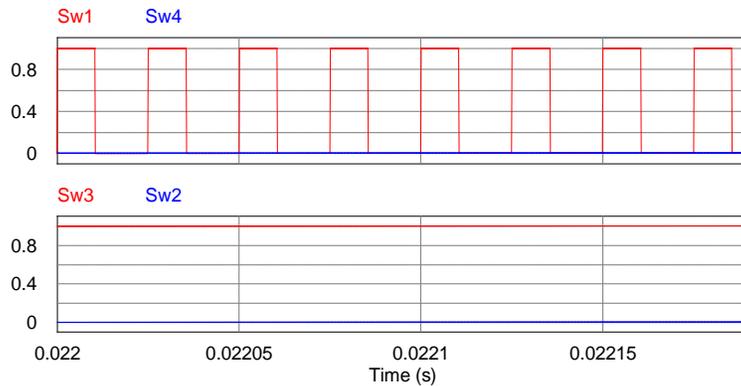
b) Voltaje de salida.



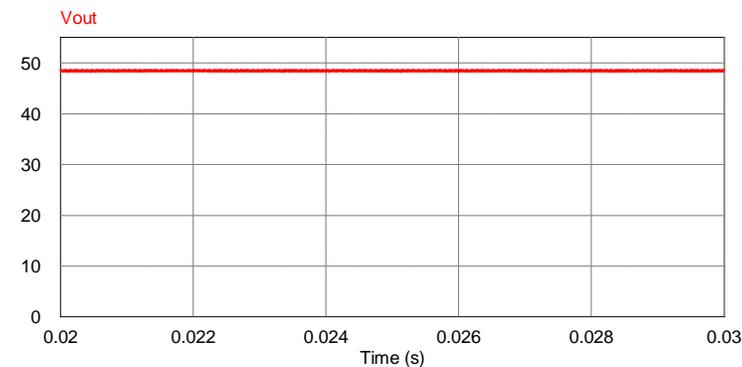
c) Corriente de inductor en el primario y corriente de batería.

Figura 8 Formas de onda del modo de operación 1.

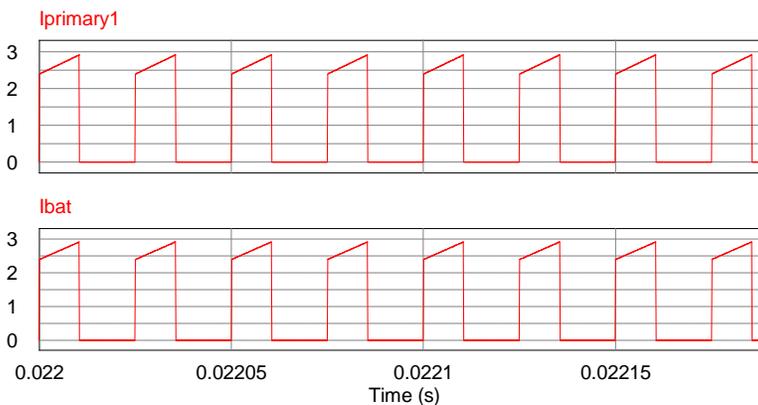
Modo 2. En este modo V_{s1} carga la batería y entrega energía a la carga. V_{s1} tiene una salida de 67V y la batería una entrada de 12 V. La señal de control para S_{w1} se muestra en la figura 9a y el voltaje de salida en la 9b. La corriente de inductor del primario y la corriente de batería se muestran en la figura 9c.



a) Señales de control.



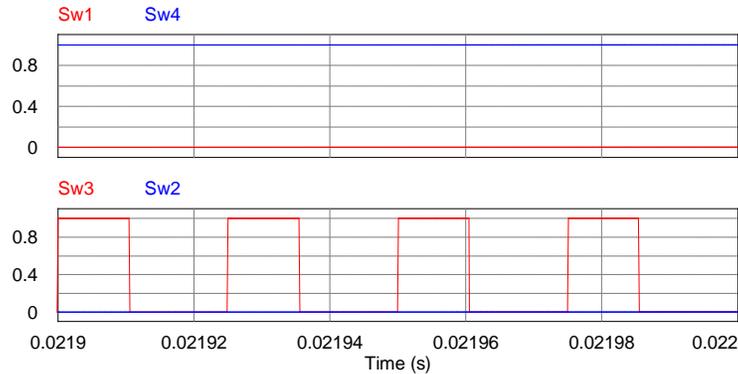
b) Voltaje de salida.



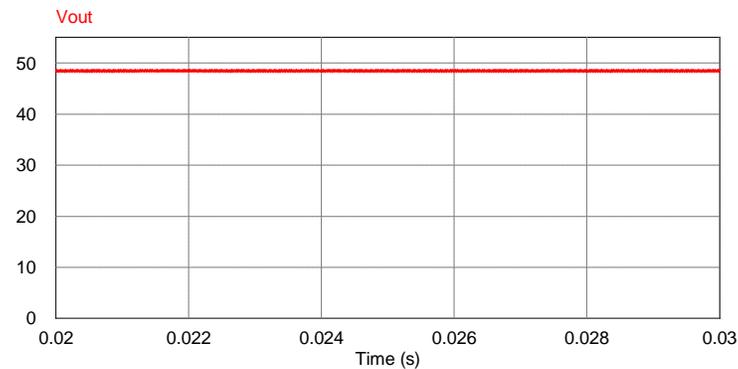
c) Corriente de inductor en el primario y corriente de batería.

Figura 9 Formas de onda del modo de operación 2:

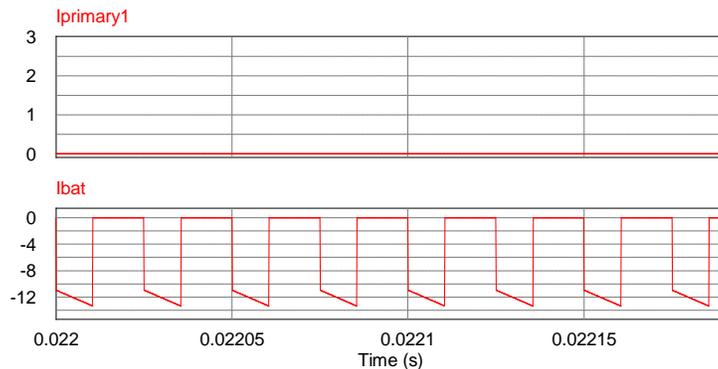
Modo 3. En este modo de operación V_{bat} entrega energía a la carga, S_{w3} y S_{w5} conmutan de acuerdo a la señal mostrada en la figura 10a. El voltaje de salida se muestra en la figura 10b usando 12V como voltaje de la batería. La corriente de inductor del primario y la corriente de batería se muestran en la figura 10c.



a) Señales de control.



b) Voltaje de salida.



c) Corriente de inductor en el primario y corriente de batería.

Figura 10 Formas de onda del modo de operación 3.

4. Discusión

- Cuando se usan múltiples paneles fotovoltaicos es deseable utilizar un convertidor multi-entradas para tener control completo del sistema y asegurar la máxima potencia en cada módulo.
- En este artículo se propone un convertidor basado en el Flyback, resultando en una topología que entrega energía de varias fuentes a la carga,

pudiendo hacerlo de manera simultánea o independiente. Estas fuentes también pueden cargar a la batería, la cual puede ser utilizada como respaldo.

- La potencia de salida del convertidor es limitada debido a las características propias de la topología, sin embargo pueden ser considerados otros esquemas.
- Las aplicaciones de la propuesta son reducidas debido a esta característica de potencia.
- Se simuló el convertidor y se obtuvieron resultados satisfactorios.

5. Bibliografía y Referencias

- [1.] C. Aguilar, F. Canales, J. Aru, J. Sebastián and J. Uceda, "An Integrated Battery Charger/Discharger with Power-Factor Correction," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 44, No. 5, October 1997, 597-603.
- [2.] S. Chao, B. Miller, K. Mayaram, and T. Fiez, "Multiple-Input Boost Converter for Low-Power Energy," *IEEE Transactions on Circuits and Systems – II: Express Briefs*", Vol. 58, No. 12, December 2011, 827-831.
- [3.] A. Khaligh, "A Multiple-Input DC-DC Positive Buck-Boost Converter Topology", *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2008. *APEC 2008*. February 2008, pp. 1522-1526.
- [4.] Laxmi Deshpande, V. Champa and Parimala S. K., "Two Input Positive DC-DC Buck-Boost Converter Topology," *International Journal of Science, Environment and Technology*, Vol. 3, No. 2, 2014, pp. 615-620.
- [5.] Zubair Rehman, Ibrahim Al-Bahadly, and Subahs Mukhopadhyay, "Multiinput DC-DC converters in renewable energy applications – An overview," *ELSEVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, 2015, pp. 521-539.
- [6.] N. Vazquez, C. M. Sánchez, C. Hernández, E. Vázquez, L. del C. García, and J. Arau, "A Different Three-Port DC/DC Converter for Standalone PV Systems," *International Journal of Photoenergy (Hindawi)*, 2014, pp 1-8.

- [7.] N. Vázquez, A. Hernández, C. Hernández, E. Rodríguez, and J. Arau, "Two Inputs DC/DC Converter Applicable in Clean-Eergy Resources", IEEE International Power Elecronics Congress, 2008, pp. 185-189.
- [8.] N. Vázquez, C. Aguilar, J. Arau, R.O. Cáceres, I. Barbi, and J. Alvarez Gallegos, "A Novel Uninterruptible Power Supply System with Active Power Factor Correction", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 17, No. 3, May 2002, pp. 405-412.
- [9.] D. W.Hart, "Electrónica de Potencia", Pearson Educación, Madrid 2001, pp. 257-266.
- [10.] N. Vazquez, L. Estrada, C. Hernández, and E. Rodriguez, "The Tapped-Inductor Boost converter", IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2007, 2007, pp. 538-543.