

# Diseño e Implementación de un Interruptor Bidireccional Usando SiC MOSFETs

Maqueda Edgar, Caballero David, Gavilán Federico

emaqueda@ing.una.py, dcaballero@ing.una.py, fgavilan@ing.una.py

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Asunción - Paraguay

Programa de Incentivos Para la Formación de Docentes Investigadores - Convocatoria 2015

## RESUMEN

Los interruptores bidireccionales (Bi-Sw) son dispositivos de potencia ampliamente utilizados por los convertidores de potencia, como es el caso de los convertidores matriciales. Los avances tecnológicos en los Bi-Sw benefician el desarrollo de convertidores de potencia más eficientes. Este trabajo presenta las cuestiones de diseño e implementación de un Bi-Sw modular utilizando dispositivos de carburo de silicio (SiC)-MOSFET. Finalmente, el Bi-Sw es implementado en un regulador de tensión AC, con el fin de analizar la temperatura disipada y sus pérdidas de potencia en relación a variaciones de frecuencia y corriente entregada a la carga.

## INTRODUCCIÓN

La gran demanda y la tendencia mundial por el uso de la energía eléctrica generada mediante fuentes renovables como solar, eólica, hidráulica, marina, geotérmica o biomásas y la necesidad de la integración de estas nuevas fuentes de energía a la red eléctrica han promovido el desarrollo de convertidores de potencia más eficientes. En este contexto las investigaciones se centran en los convertidores matriciales ya que permiten la regeneración de energía. Para mejorar su desempeño requieren de interruptores bidireccionales (Bi-Sw) con mejores características eléctricas de funcionamiento como: a) conmutaciones a altas frecuencias y voltaje, b) manejos de alta temperatura y c) menores pérdidas de potencia. Los Bi-Sw son dispositivos que pueden tanto conducir la corriente y bloquear la tensión en ambas direcciones. Actualmente los Bi-Sw no están disponibles en el mercado por la poca demanda existente. Para la construcción de los interruptores bidireccionales se utilizó el semiconductor de carburo de silicio (SiC) MOSFET. El SiC MOSFET representa lo último en desarrollo tecnológico en cuanto a transistores de potencia se refiere, motivo por el cual se ha optado por este dispositivo para el desarrollo del trabajo. El objetivo de este trabajo es diseñar un Bi-Sw modular utilizando SiC MOSFETs, e implementarlo experimentalmente en un convertido tipo regulador de tensión AC con el fin de analizar la temperatura disipada y sus pérdidas de potencia en relación a variaciones de frecuencia y de carga.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Bi-Sw está dividida en dos módulos, el buffer y el módulo de potencia. El buffer realiza el acondicionamiento de la señal para obtener niveles de voltaje y corrientes adecuados que necesitan los semiconductores de potencia para su correcto funcionamiento y la aísla de ruidos eléctricos. El módulo de potencia está formado por los SiC MOSFET que realizan las conmutaciones del voltaje AC de entrada Fig. 1. Las mediciones de temperatura se realizaron mediante una cámara termográfica FLIR T440. Para cuantificar la eficiencia del diseño se procede a medir las tensiones y corrientes de drenador en los SiC MOSFET mediante un osciloscopio, lográndose de esta manera obtener los tiempos de conmutación  $t_{on}$  y  $t_{off}$  necesarias para determinar las pérdidas por conmutación así como las pérdidas por conducción. Para las pruebas experimentales se utilizó una carga tipo RL formada por un banco de focos de 100 W conectados en paralelo. Se realizaron mediciones para potencias de salida desde los 100W hasta 1.2 kW, ajustando la frecuencia de conmutación mediante un generador de señales en un rango comprendido entre los 1kHz y 200 kHz y 50 % de ciclo útil.

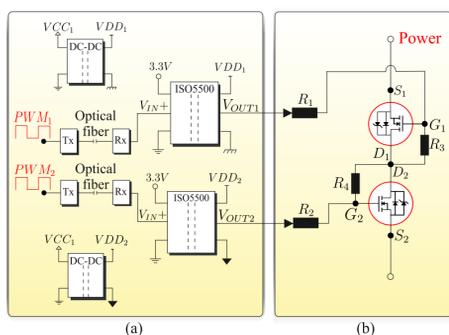


Fig. 1 Diagrama eléctrico del Bi-Sw, (a) buffer y (b) módulo de potencia.

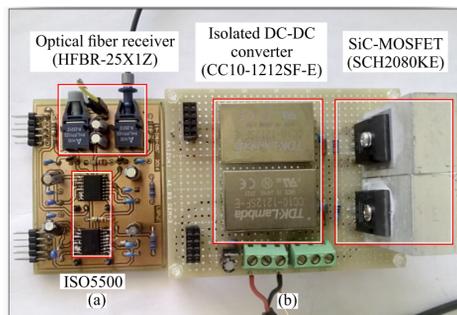


Fig. 2 Placas electrónicas del Bi-Sw, (a) buffer y (b) módulo de potencia.



Fig. 3 Integración de los módulos buffer y potencia en un circuito compacto formando el Bi-Sw.

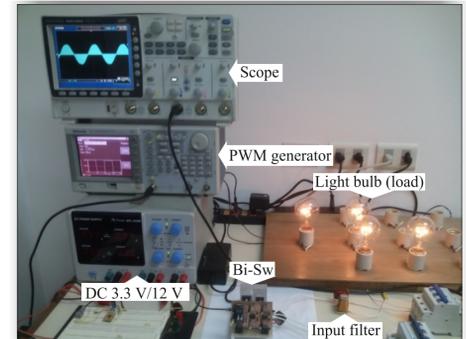


Fig. 4 Plataforma experimental del regulador de voltaje AC con el Bi-Sw.

## RESULTADOS

En la Fig. 3 se observa el módulo final de integración del Bi-Sw formado por el buffer y el módulo de potencia. Fig. 4 muestra la plataforma experimental del regulador de voltaje AC con el Bi-Sw, mediante el cual se obtuvieron las formas de ondas de la Fig. 5 y las curvas de Fig. 6 y Fig. 7. La imagen termográfica muestra las temperaturas del componente más caliente del Bi-Sw, que evidentemente son los SiC MOSFETs como lo demuestra los resultados de la Fig. 8.

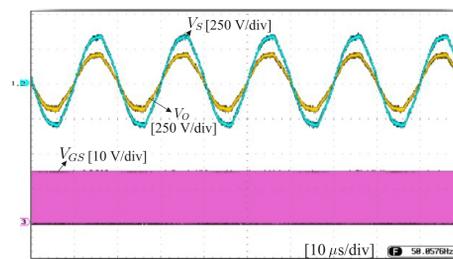


Fig. 5 Formas de ondas medidas por el osciloscopio del circuito regulador de voltaje AC. Voltaje de entrada ( $V_s$ ), voltaje de salida ( $V_o$ ) y voltaje PWM en gate ( $V_{GS}$ ).

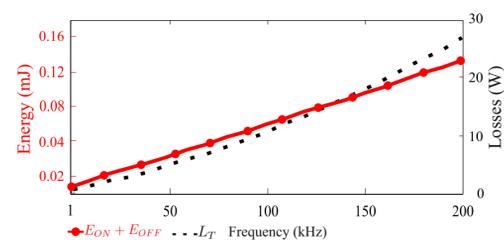


Fig. 6 Curvas que representan las pérdidas de energía (rojo) y las pérdidas de potencia (negro) del Bi-Sw en relación a variaciones de frecuencia de la señal PWM.

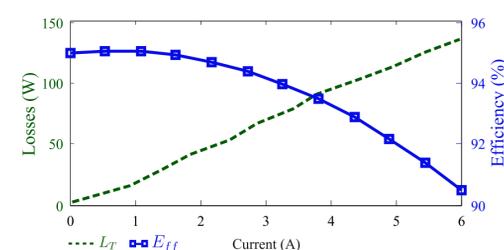


Fig. 7 Curvas que representan las pérdidas de potencia (verde) y eficiencia (azul) del Bi-Sw en relación a variaciones de carga.

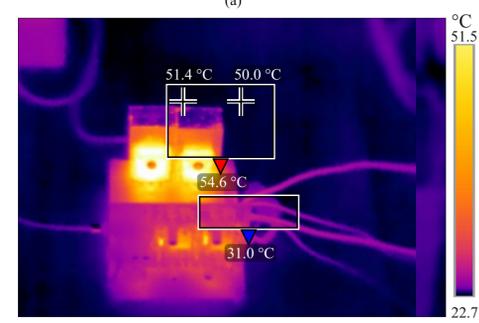
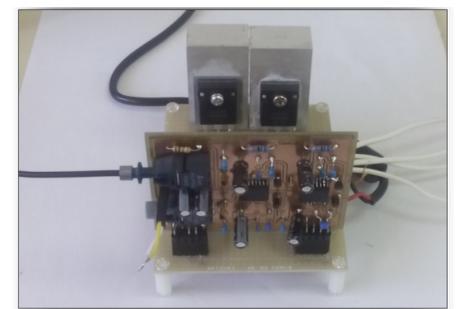


Fig. 8 Imagen obtenida mediante la cámara termográfica, (a) imagen digital y (b) imagen térmica.

## CONCLUSIONES

El análisis del diseño proporcionó los criterios necesarios para elegir el hardware adecuado para esta aplicación, como es el caso de la memoria intermedia (ISO 5500, gate driver) y módulo de potencia (SCH2080KE, SiC MOSFET). Bi-Sw trabajó incluso a una alta frecuencia de 200 kHz resultando una pérdida de potencia de 25 w para 100 W de carga, y para una carga de 1.2 kW la pérdida fue de 125 W que representó una eficiencia del 90 %. Finalmente, la temperatura promedio disipada por los SiC MOSFETs fue de 54.6 °C, nivel muy por debajo del límite máximo permisible por el dispositivo.

## AGRADECIMIENTOS

Al gobierno de Paraguay por el apoyo económico que proporcionan a través del CONACYT mediante el proyecto de investigación 14-INV-097. Al Laboratorio de Sistemas de Potencia y Control (LSPyC) de la Facultad de Ingeniería (FIUNA) lugar donde se ha desarrollado el proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] E. B. Ssekulima, M. B. Anwar, A. Al Hinai, and M. S. El Moursi, "Wind Speed and Solar Irradiance Forecasting Techniques for Enhanced Renewable Energy Integration with the Grid: A Review," IET Renewable Power Gener., vol. 10, DOI 10.1049/iet-rpg.2015.0477, no. 7, pp. 885-898, Mar. 2016.
- [2] A. Trentin, L. Empringham, L. De Lillo, P. Zanchetta, P. Wheeler, and J. Clare, "Experimental Efficiency Comparison Between a Direct Matrix Converter and an Indirect Matrix Converter Using Both Si IGBT and SiC MOSFETs," IEEE J. Electron Devices Soc., vol. 52, DOI 10.1109/TIA.2016.2573752, no. 5, pp. 4135-4145, Sep. 2016.