

FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE ALTA TENSIÓN DE LABORATORIO PARA APLICACIONES EN ELECTRONICA DE POTENCIA

Juan D. Gómez, Luis F. Gonano, Gustavo Rossler, Victor H. Kurtz, Fernando Botterón

GID-ID – (Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica)

Facultad de Ingeniería – Departamento de Electrónica - Universidad Nacional de Misiones

Oberá - Misiones - Argentina

gomezjuandario@gmail.com, gustavorossler@arnet.com.ar, facundo_gonano@yahoo.com.ar

Resumen. Este trabajo presenta la construcción de una fuente de corriente continua de alta tensión regulada y regulable, para alimentar convertidores CC-CA. Este proyecto tiene aplicación a otros trabajos de investigación que se encuentran en desarrollo en el GID-IE y que necesitan para la puesta en funcionamiento, una tensión continua pura y estabilizada. Esta fuente suministra una potencia de 5kW, tensión de salida de hasta 400Vcc y provee una corriente de hasta 13A. La tensión de salida puede variarse desde aproximadamente 0V a 400Vcc.

Palabras-claves: fuente regulable, convertidor buck, DSP.

1. INTRODUCCION

La fuente de alimentación que aquí se presenta se construyó para fines de apoyo a los proyectos de investigación que se desarrollan en el GID-IE (Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica), de la Facultad Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

La fuente de alimentación esta basada en un convertidor CC-CC tipo Buck el cual es alimentado a través de un rectificador trifásico de 6 pulsos. El control y gestión de la fuente, se realiza con un controlador digital de señal (DSC) dsPIC. El mismo controla la tensión y corriente de salida de la fuente así como también gestiona la precarga de los capacitares de filtrado, protección en caso de cortocircuito, falta de fase, y monitoreo de los valores de la tensión y de la corriente para presentación en un display.

2. DESCRIPCIÓN

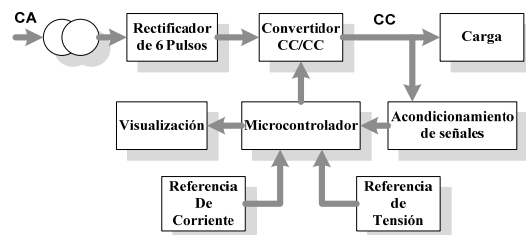


Figura 1. Diagrama en bloques de la fuente de alimentación.

La Figura 1 presenta el diagrama general en bloques de la fuente CC, la cual describe a continuación: La alimentación de la fuente es tomada de la red trifásica, y luego se convierte a tensión continua mediante un rectificador trifásico de 6 pulsos con un filtro de primer orden capacitivo, el que permite obtener una fuente de tensión constante adecuada para la correcta operación del convertidor reductor de tensión, comúnmente conocido como convertidor *Buck*.

El convertidor esta accionado y controlado por un DSC de Microchip el dsPIC30F4011. Este se encarga de mantener constante la tensión CC en el valor deseado y controlar que la corriente suministrada por la fuente no supere el máximo permitido.

La visualización tanto de los valores de corriente así como de tensión, está a disposición mediante un indicador a leds 7 segmentos. La medición de las señales de tensión y corriente necesarias para la realimentación, son realizadas con sensores de efecto hall, cuyos circuitos, incluido el acondicionamiento de señal para el conversor A/D del DSC son presentados por Franke *et al* [1].

3. PROYECTO Y OPERACIÓN DEL CONVERTSOR

Para iniciar este proyecto fue necesario definir algunos parámetros que determinan la característica del convertidor. Estos parámetros son: las variaciones de tensión y de corriente de salida, la frecuencia de conmutación, máxima ondulación de la tensión de salida y máxima ondulación de la corriente en el inductor. El objetivo es obtener un convertidor con peso y volumen reducidos. Para esto es necesario que el convertidor opere a frecuencia de conmutación elevada y de esta forma reducir el tamaño del inductor y del capacitor de filtrado. Por otro lado, un aumento excesivo de la frecuencia de conmutación incrementa las pérdidas en el semiconductor. Se definieron para el proyecto los siguientes valores:

Tabla 1. Parámetros de proyecto del convertidor

▪ Tensión de entrada	$V_i = 460V$
▪ Tensión máxima de salida	$V_o = 400V$
▪ Corriente máxima de salida	$I_o = 12A$
▪ Frecuencia de conmutación	$f_s = 20KHz$
▪ Ondulación de corriente	$\Delta I_o = 20\%$
▪ Ondulación de tensión	$\Delta V_o = 0,25\%$

La frecuencia de conmutación, la corriente y la tensión determina el tipo de llave de potencia a utilizar. Los transistores bipolares de potencia, operan bien hasta los 10KHz como máximo, los IGBT's hasta unos 100KHz y los MOSFET's hasta 1MHz.

Se optó entonces por el IGBT por mayor robustez frente al MOSFET de potencia ya que cumple con las características demandadas de tensión, corriente y frecuencia de trabajo. La elección del diodo ultrarrápido MUR1520 se efectuó en base a simulación, para el cual se tuvo en cuenta la corriente media máxima de carga y la ondulación ΔI_o , así como también, los tiempos de conducción y de recuperación.

El valor del inductor calculado por (1),

$$L = \frac{V_i}{4f_s \Delta I_{L,max}} = 3mH \quad (1)$$

y el valor del capacitor es calculado por (2),

$$C = \frac{V_i}{31Lf_s^2 \Delta V_{0,max}} = 13\mu F \quad (2)$$

El convertidor CC/CC *Buck*, sirve para pasar de un valor de tensión de continua de entrada a otro valor de tensión de salida, menor que la tensión de entrada. En la Figura 2 se muestra un diagrama esquemático de dicho convertidor.

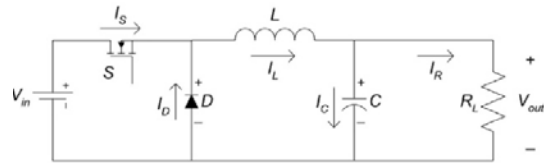


Figura 2. Esquema eléctrico del convertidor Buck.

Este convertidor puede funcionar de dos maneras: en conducción continua o conducción discontinua; dependiendo de la forma de la corriente que circula por el inductor. Las etapas para el funcionamiento del convertidor en forma resumida, son: estado ON (llave cerrada) en el cual el dispositivo de conmutación permite el incremento lineal de la corriente a través del inductor, encontrándose el diodo bloqueado y un estado OFF (llave abierta) en el cual el diodo entra en conducción, disminuyendo linealmente la corriente almacenada en el inductor.

Las formas de onda de la tensión en el diodo, la corriente en el inductor, la tensión sobre la llave y la tensión de salida, son presentadas en la Figura 3.

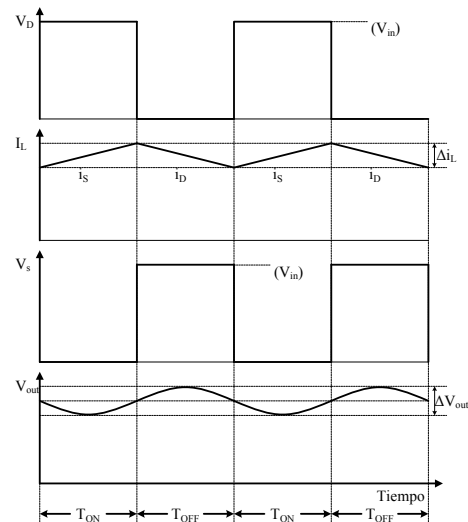


Figura 3. Formas de onda del convertidor Buck.

4 CIRCUITO DE COMANDO DEL IGBT

El circuito de comando toma la señal PWM del dsPIC y aísla a este último mediante un acoplador óptico. Este genera en la puerta del IGBT una señal idéntica a la salida del PWM del dsPIC de amplitud V_{ge} de 15V.

En la Figura 4 se muestra un diagrama esquemático del circuito de comando presentado en Baggio J. [2].

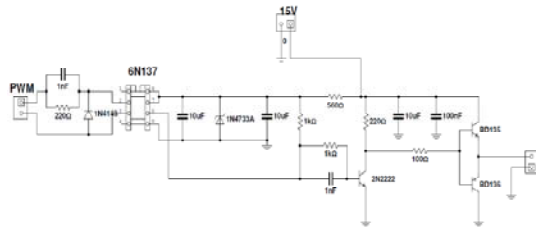


Figura 4. Driver de comando.

5 CIRCUITO DE LOS SENSORES DE TENSIÓN Y DE CORRIENTE

Para la medición de estas variables se utilizan transductores de efecto Hall. El sensor utilizado para la medición de la corriente es el LA 55-P y para la tensión el LV 25-P. A este último se le coloca una resistencia de entrada que limita la corriente a 10mA con 400Vcc. En este estado la corriente que proporciona el transductor es de 25mA, debido a la ganancia de 2500:1000 del sensor. A la salida del mismo se conecta un resistor que transforma el valor de corriente a un valor de tensión, el que luego pasa a través de 2 amplificadores operacionales que se encargan de amplificar la señal e introducir un valor de offset adecuado para la entrada del convertidor A/D del DSC.

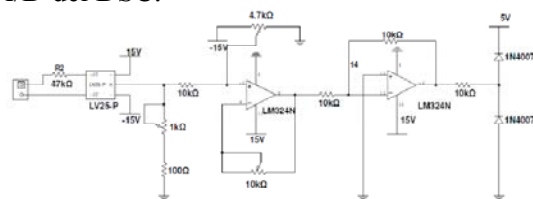


Figura 5. Circuito del sensor de tensión

El sensor de corriente posee una ganancia de 1:1000. La corriente del inductor pasa por el transductor, que nos brinda una corriente de

salida proporcional a la medida. Transformando esta corriente a tensión, mediante un resistor variable, y adecuando esta señal con amplificadores operacionales, se calibra para que cuando circule un valor medio de 13A se tenga una tensión de 5V, tensión adecuada para el convertidor A/D del dsPIC30F4011.

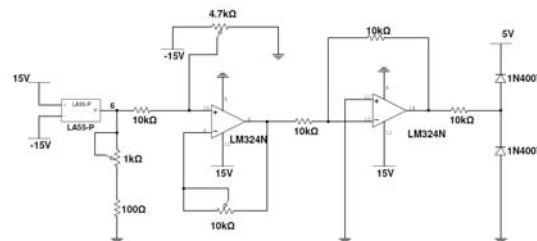


Figura 6. Circuito del sensor de corriente.

Características del DSC dsPIC30F4011

- Conversores A/D: 9 de 10bit a 1000KSPS
- Entradas y Salidas: 30 pines
- Modo control PWM 6 canales
- Memoria de datos EEPROM: 1024 bytes, SRAM: 2048 bytes
- Timers: 5 de 16 bits y 2 de 32 bits
- Oscilador: 7,37 MHz (30MIPS)
- Rango de operación: 2,5V – 5,5V

6 LAZO DE CONTROL

En primer lugar se realiza un lazo de corriente que sea lo suficientemente rápido como para limitar posibles cortocircuitos. Se utiliza un controlador proporcional-integral-derivativo (PID) predictivo, debido a su velocidad de respuesta, robustez y sencillez de cálculo. La función de transferencia de la planta se puede ver en (3).

$$G(s) = \frac{1}{RCL} \frac{1}{s^2 + s \frac{1}{RC} + \frac{1}{LC}} \quad (3)$$

Se definen los parámetros de tiempo de asentamiento y de sobre-impulso, y en función de estos se calculan las constantes K_d , K_p y K_i del PID. Una vez que se finaliza con el lazo de corriente, se toma al sistema y al controlador de corriente como una nueva planta y se procede a la realización de un

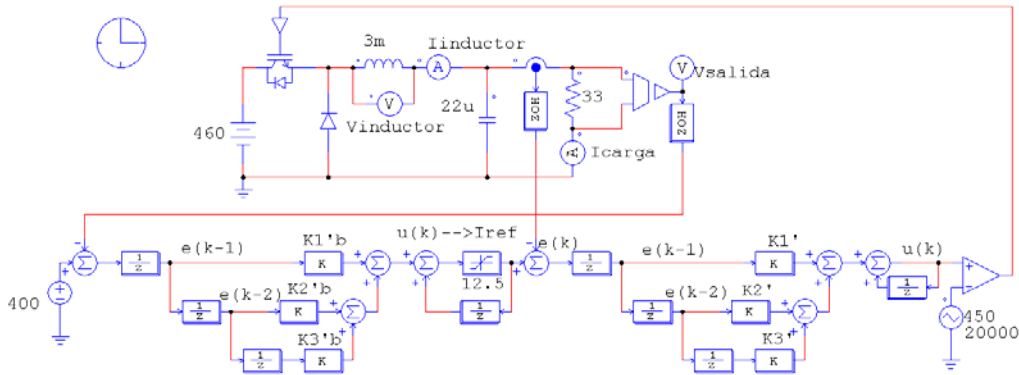


Figura 7. Esquema de la planta y los lazos de corriente y de tensión.

lazo de tensión. Para este también se utiliza un controlador PID predictivo. Finalizado el cálculo de las constantes de los controladores se procede a discretizar estos. Para ello se utilizan las ecuaciones (4), (5) y (6). Tanto la ley de control de corriente, como la ley de control de tensión toman la forma de la ecuación (7), cada una con sus respectivas constantes.

$$K_1' = 2K_p + \frac{K_d}{T} + 2K_i T \quad (4)$$

$$K_2' = -3K_p - 2\frac{K_d}{T} - K_i T \quad (5)$$

$$K_3' = K_p + \frac{K_d}{T} \quad (6)$$

$$u_{[k]} = u_{[k-1]} + K_1' e_{[k-1]} + K_2' e_{[k-2]} + K_3' e_{[k-3]} \quad (7)$$

7 RESULTADOS EXPERIMENTALES

La Figura 8 muestra la tensión de entrada al convertidor en el canal 1, la tensión regulada de salida en el canal 2 y la corriente en la carga, canal 4.

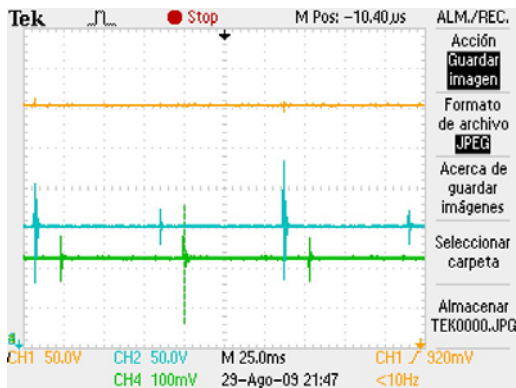


Figura 8. Resultado experimental. Tensión de entrada CH1, tensión de salida (CH2) y corriente en la carga (CH4). Esc. Tensión: 50V/div. Esc. Corriente: 4A/div.

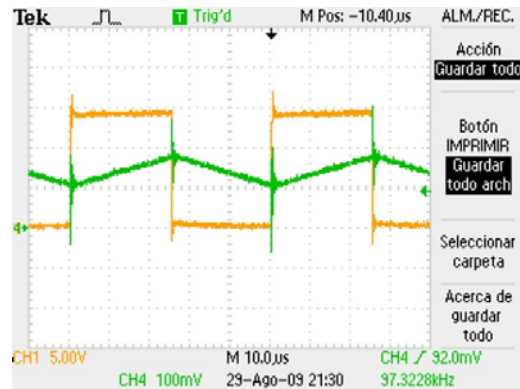


Figura 9. Resultado experimental. Tensión de puerta del IGBT y corriente en el inductor. Esc. Tensión: 5V/div. Esc. Corriente: 1A/div.

En la Figura 9 se presentan, la tensión de disparo del IGBT en el canal 1 y la corriente en el inductor del Buck, en el canal 2.

8 CONCLUSIONES

La realización de este proyecto ha permitido aplicar conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de grado. Participar de la puesta en marcha de un trabajo de investigación no siempre condice con la teoría y no siempre marcha todo sobre rieles, apareciendo ciertos imprevistos como ser conseguir materiales en el mercado, tener que reutilizar componentes de circuitos antiguos, problemas con interferencias, entre otros. Sorteando estas problemática se siente gran satisfacción a medida que se avanza, ver como lo aprendido en la teoría se hace realidad en la práctica. Esta fuente de alimentación se encuentra operando según lo establecido en las pautas del proyecto y solo falta el montaje en un gabinete adecuado para su uso.

Agradecimientos

A nuestras familias que nos acompañan siempre. Agradecemos a Dr. Ing. Botterón por su disposición con el proyecto, a la Universidad Nacional de Misiones por ayudar con los fondos para el mismo.

REFERENCIAS

- [1] M. F. Franke; A. O. Neremberg; V. H. Kurtz; F. Botterón; “Transductor y Acondicionador de Corriente por Efecto Hall”; Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, CRICTE 2009, outubro de 2009.
- [2] José E. Baggio, “Estudo Teórico e Experimental de um Circuito Ativo de Auxílio à Comutação para Inversores com PWM Três Níveis”, Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, 1997.
- [3] B. K. Bose, “Evolution of Modern Power Semiconductor Devices and Future Trends of Converters”, IEE Trans. On Industry Applications vol.28.No2.pp.403-413. Mar/Apr.1992.
- [4] V. Jihn. B. Suh. And T. A. Lipo, “High-Performance Driver for High-Power IGBT’s,” IEE Trans. On Industry Applications vol.35.No5.pp.1108-1117.Sep/Oct.1999