

IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR REDUCTOR EN MCD ALIMENTADO DESDE LA RED ELÉCTRICA

Gómez Saavedra, Carlos Antonio (1), Sosa Zúñiga, José Miguel (2),
Limonés Pozos, Cesar Augusto (3)

1 [Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [carlos.2gomez.6saavedra@gmail.com]

2 [Maestría en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [jmsosa@itesi.edu.mx]

3 [Maestría en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [cesar.limonés@itesi.edu.mx]

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un convertidor reductor con filtro LC a la entrada. El objetivo es la corrección del factor de potencia operando el convertidor en modo de conducción discontinua y alimentado desde la red eléctrica a través de un rectificador no controlado. El convertidor reductor es una topología de electrónica de potencia que adecua un voltaje de DC a la entrada a un nivel menor. Sin embargo, la implementación convencional de este convertidor demanda una corriente de entrada discontinua. En este trabajo se propone el uso de un arreglo LC a la entrada para atenuar las componentes de conmutación. Además, se propone operar el convertidor en modo de conducción discontinua para asegurar que la componente fundamental de la corriente demanda a la red esté en fase con el voltaje y no tenga desplazamiento. Se realizaron simulaciones numéricas para corroborar el comportamiento del convertidor, donde se comprobó que es posible corregir el factor de potencia con valores de inductores y capacitores seleccionados adecuadamente. Se realizó una implementación del convertidor en donde se obtuvieron resultados experimentales satisfactorios.

Abstract

This paper presents the design and implementation of a buck converter with an LC filter at the input. This converter is connected to electrical grid through a non-controlled rectifier and is aimed at improving the power factor by operating in discontinuous conduction mode. The buck converter is a power electronics topology that regulates a DC input voltage to a lower DC voltage level at the output. However, the conventional buck converter has a discontinuous input current. In this paper the use of an LC filter at the input of the converter is proposed in order to mitigate switching frequency components. Additionally, the converter is operated in discontinuous conduction mode in order to ensure that the grid current fundamental component follow as close as possible the grid voltage waveform without displacement. Numerical simulations were performed to assure that by appropriately selecting passive components in the converter the power factor can be improved. Experimental results were obtained, under a prototype of the converter, that show a satisfactory performance.

Palabras Clave

Factor de potencia; modo de conducción discontinua; filtro LC; convertidor reductor; convertidor buck.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen cargas eléctricas y electrónicas que pueden consumir potencia reactiva y armónica. [1] Las cuales pueden producir desfases o distorsiones la corriente demandada de modo que deterioran la calidad de la energía eléctrica. Una baja energía eléctrica puede producir fallas en los dispositivos electrónicos conectados a la red eléctrica. La corrección del factor de potencia (FP) es una manera de mejorar la calidad de la energía. [2] En un convertidor reductor convencional no es posible corregir el factor de potencia de modo que, en este proyecto se propone una modificación al convertidor. En cual se añade un filtro LC a la entrada operando en modo de conducción discontinua, MDC, para la corrección del factor de potencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis en modo de conducción discontinua

En la Figura 1 se muestra la topología del convertidor reductor convencional. Este convertidor consta de un elemento de conmutación activo Q , un diodo D , un inductor L y un capacitor C . La carga es resistiva y de valor R . El voltaje de entrada se asume en una primera instancia, constante de valor V_{DC} y el voltaje de salida se denota por V_o .

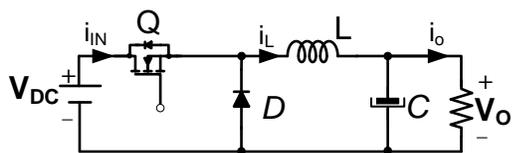


Figura 1: Convertidor reductor convencional.

Un convertidor reductor presenta dos modos de conducción, en donde en un periodo de tiempo, denominado t_{on} el elemento de conmutación, Q , está cerrado y en t_{off} , el interruptor está abierto. Los circuitos equivalentes se muestran en la Figura 2.

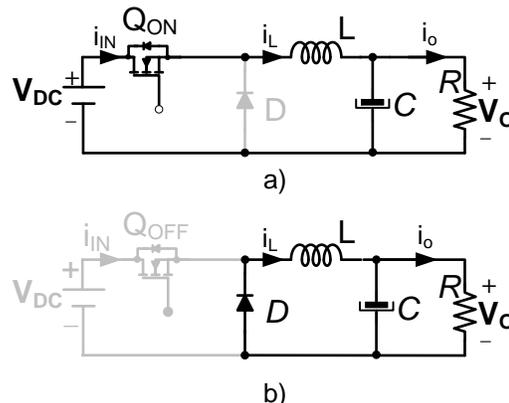


Figura 2: Modos de conducción del convertidor reductor, a) modo I b) modo II.

En el modo I, cuando el interruptor está cerrado, la corriente de entrada, que va en aumento, fluye por el inductor L , por el capacitor C y la resistencia de carga R . Por otro lado cuando el dispositivo de conmutación está abierto, la corriente almacenada en el inductor empieza a circular por el diodo de marcha libre D , la corriente del inductor baja hasta que se vuelve a conducir el interruptor. Un convertidor reductor puede trabajar en modo de conducción continua, MCC, modo de conducción frontera, MCF y modo de conducción discontinua, MCD. [3]

La operación en modo de conducción continua, MCC, se refiere a que la corriente a través del inductor i_L y el voltaje a través del capacitor V_C en estado estacionario en ningún instante de tiempo son cero. Para asegurar el modo de operación MCC se requiere que el valor del inductor sea mayor que L_c y que el valor del capacitor sea mayor que C_c [4].

$$L_c = \frac{(1-k)R}{2f} \quad (1), \quad C_c = \frac{1-k}{16Lf^2} \quad (2)$$

Las ecuaciones (1) y (2) son las que determinan el tipo de operación del convertidor, donde dependen de una resistencia R , una frecuencia de conmutación f y un ciclo de trabajo k .

La relación de voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada en el convertidor reductor en modo de conducción continua se muestra en la siguiente ecuación [5].

$$\frac{V_o}{V_{DC}} = k \quad (3)$$

La relación de conversión en un modo de conducción continua es de un comportamiento lineal, en donde este sólo depende del ciclo de trabajo k .

El modo de conducción discontinua, MCD, se refiere a que la corriente del inductor o voltaje del capacitor es cero en un periodo de tiempo, y ocurre cuando los valores de L o de C son seleccionados menores que los valores críticos L_c y C_c , respectivamente. Por ejemplo, considerando un valor de inductor L menor que L_c se tiene una corriente de inductor y corriente de entrada discontinua cuyas formas de onda se muestran en la Figura 4.

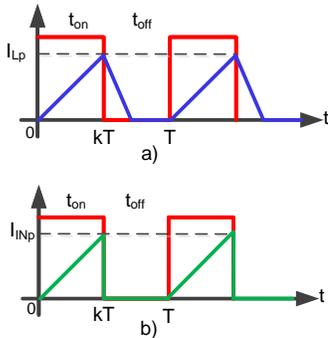


Figura 4: a) pulsos de conmutación, en rojo, corriente discontinua del inductor, en azul, b) en verde corriente discontinua de entrada.

Suponiendo que se tiene un convertidor ideal, donde no hay pérdidas entonces se dice que:

$$P_{IN} = P_{OUT} \rightarrow V_{IN} I_{IN} = \frac{V_{OUT}^2}{R} \quad (4)$$

Analizando el comportamiento de I_{IN} de la Figura 4 - b) se obtiene que:

$$I_{IN} = \frac{k^2 T}{2L} (V_{IN} - V_{OUT}) \quad (5)$$

Finalmente sustituyendo I_{IN} en ecuación (4), se obtiene:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \sqrt{\frac{TR}{2L} + \frac{T^2 k^2 R^2}{16L^2}} - \frac{kRT}{4L} \quad (6)$$

La gráfica de ganancia con respecto al ciclo de trabajo k de la ecuación (3) y (6) se muestra en la Figura 5.

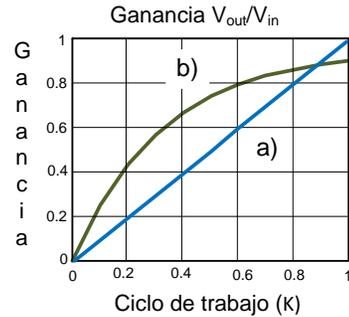


Figura 5: Ganancia de un convertidor reductor en a) MCC, b) MCD.

En comparación del comportamiento en MCC, la ganancia del convertidor en MCD no sólo depende del ciclo de trabajo k , sino también de parámetros como inductor L , resistencia R y periodo T de conmutación.

Simulación numérica del convertidor

El análisis de simulación numérica se realizó utilizando el software PSIM 9.0. En la Figura 6 se presenta la topología del convertidor utilizada. Los parámetros del convertidor se muestran en la Tabla 1. Bajo estos parámetros la potencia nominal del convertidor es aproximadamente de 68.2W.

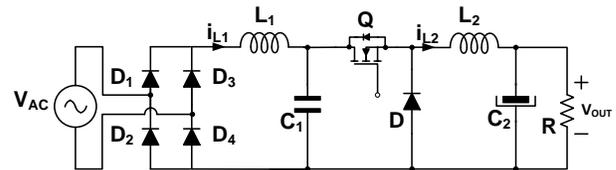


Figura 6: Convertidor reductor con filtro LC a la entrada.

Tabla 1: Parámetros de simulación.

Parámetro	Valor
Inductor L_1	179 μ H
Inductor L_2	178 μ H
Capacitor C_1	0.47 μ F
Capacitor C_2	1000 μ F
Voltaje de entrada V_s	127 V _{rms} , 60Hz
Ciclo de trabajo (k)	19%
Frecuencia de conmutación	20kHz
Carga (R)	60 Ω

Los parámetros seleccionados aseguran corrientes discontinuas en los inductores L_1 y L_2 . El filtro LC

se seleccionó de manera que la mitad del periodo de resonancia del filtro fuera menor que el periodo de conmutación, de esta manera garantizar un comportamiento discontinuo en la corriente de entrada. Por otro lado el valor del capacitor fue seleccionado para reducir el rizo de voltaje a la salida.

A continuación, se muestra el voltaje de red V_s y corriente de red I_s .

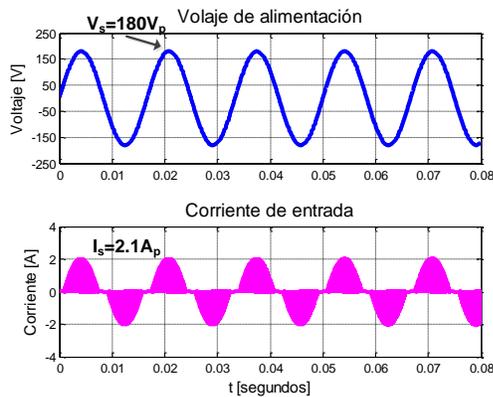


Figura 7: (De arriba a abajo) Voltaje de red V_s , 50 V/div, 0.01 s/div, y corriente de la red i_s , 2 A/div.

La fuente V_s se asume que proporciona por un voltaje sinusoidal con únicamente componente fundamental a 60 Hz. En donde la corriente de red es discontinua y su envolvente sigue a la forma de onda del voltaje de la red lo que asegura un factor de potencia cercano a la unidad. En la siguiente figura se muestra el voltaje y corriente de salida.

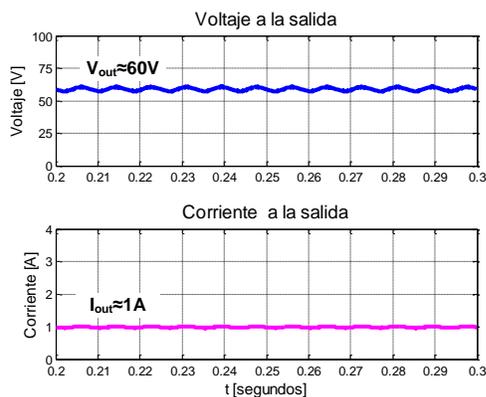


Figura 8: (De arriba a abajo) Voltaje de salida V_{out} , 25V/div, 0.1s/div, y corriente de salida i_{out} 1A/div.

El voltaje y corriente de salida se comportan de manera casi continua en donde el rizo de ambos

es muy pequeño, con una potencia aproximada a 68W. Las corrientes en los inductores se presentan en la Figura 9.

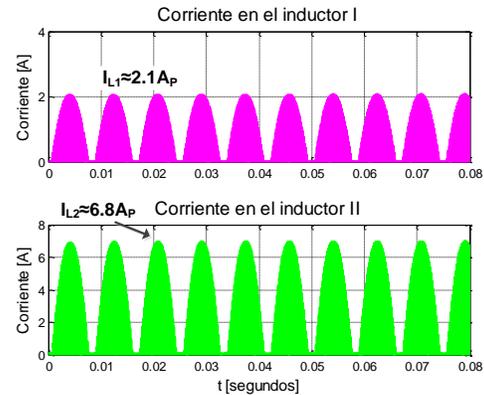


Figura 9: (De arriba a abajo) Corriente en el inductor uno i_{L1} , 2A/div, 0.01s/div, y corriente en el inductor dos i_{L2} , 2A/div.

Las corrientes en los inductores L_1 y L_2 son discontinuas debido a que los valores de estos inductores son menores a los valores críticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas experimentales se realizaron utilizando los mismos parámetros de simulación.

En las pruebas experimentales pueden existir pérdidas por conmutación de los dispositivos semiconductores, además de capacitancias e inductancias parásitas que pueden llegar a afectar al funcionamiento del convertidor. En la Figura 10, se presenta el voltaje de entrada empalmado con la corriente de entrada.

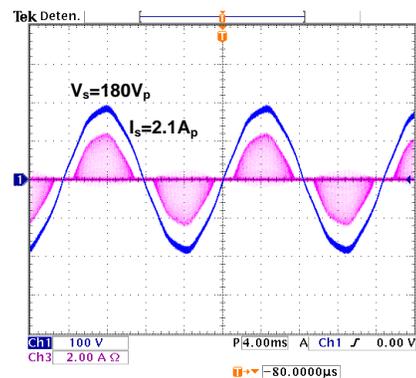


Figura 11: Voltaje de red, (en azul), V_s , 100V/div, 4ms/div, Corriente de red (en morado) I_s , 2A/div.

El voltaje de suministro se presenta con un nivel de armónicos. Sin embargo, a pesar de ello, la corriente con respecto al voltaje sigue la forma de onda del voltaje lo cual se puede deducir que si está corrigiendo el factor de potencia. En la Figura 12 se presenta de arriba a abajo el voltaje y corriente de salida.

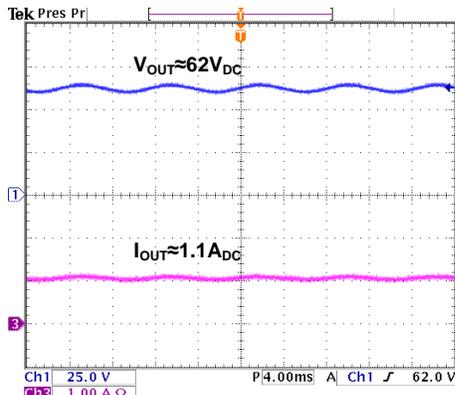


Figura 12: (De arriba a abajo) Voltaje de salida V_{out} , 25V/div, 4ms/div, corriente de salida I_{out} , 1A/div.

El voltaje y corriente de salida del convertidor proporcionan una potencia aproximada de 68.2 W.

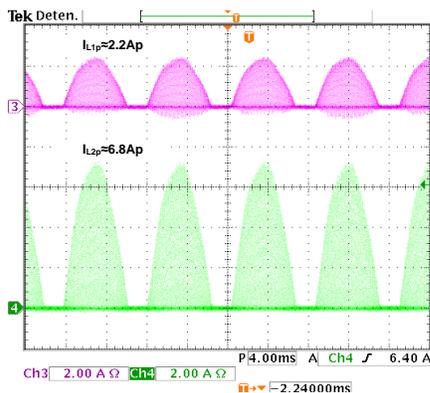


Figura 13: (De arriba a abajo) corriente en I_{L1} , 2A/div, 4ms/div, corriente en I_{L2} , 2A/div.

Las corrientes en ambos inductores tienen un comportamiento discontinuo. La corriente en L_2 es de una magnitud mayor, esto es debido a una característica del convertidor, la cual al disminuir el voltaje de salida este aumenta la corriente a la salida.

CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este proyecto se pudo corroborar que el convertidor reductor con filtro LC a la entrada, operando en MCD es una solución viable para corrección del factor de potencia en sistemas de conversión AC-DC de baja potencia.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por brindarme los materiales, a mi asesor José Miguel Sosa Zúñiga, al Maestro Cesar Augusto Limones Pozos. A mi familia y a María Fernanda Navarro Navarro.

A la universidad de Guanajuato por brindarme la oportunidad de participar en el quinto encuentro de jóvenes investigadores.

REFERENCIAS

- [1]. Akagi ,(2006), Electric power definitions, (3ª ed.), Instantaneous power theory and applications (pp. 24 – 29) , Mexico, Mc Graw Hill.
- [2] L. Rossetto, G. Spiazzi, P. Tenti, "Control techniques for power factor correction converters," 1994 Power Electronics and Motion Control, PEMC 94, September, pp. 1310-1318.
- [3] Mohan, Undeland, Robbins. (2009), Convertidores de modo de conmutacion CC – CC, (3ª ed.), Electrónica de potencia (pp. 146 – 150) , Mexico, Mc Graw Hill.
- [4] [5] Rashid, (2004), Convertidores CD -CD, (3ª ed.), Electrónica de potencia (pp. 186 – 190) , Mexico, Mc Graw Hill.