

IMPLEMENTACIÓN DE UN CONVERTIDOR REDUCTOR DOBLE FUNCIONANDO EN MODO DE CONDUCCIÓN CONTINUA

Valdés Delgado Diana Cecilia (1), Limones Pozos Cesar Augusto (2), Sosa Zúñiga José Miguel (3)

1 [Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato] | [dianavd95@gmail.com]

2 [Maestría en Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico Superior De Irapuato] | [cesar.limones@itesi.edu.mx]

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

Resumen

En el presente documento muestra el desarrollo y la implementación de un convertidor DC-DC conocido como convertidor reductor doble con un filtro LC a la entrada. Este convertidor consta de dos interruptores activos, dos diodos, dos bobinas divididas y tres capacitores. El aumento en el número de dispositivos con respecto al convertidor reductor convencional permite disminuir el estrés eléctrico de los componentes y alargar la vida útil de los mismos. Es importante notar que este convertidor presenta la ventaja de utilizar solamente un disparo para los dos interruptores. Se realizaron dos análisis matemáticos del prototipo. El primer análisis es del modelo promedio de espacio de estados, donde se muestra que el sistema no es lineal. El segundo análisis se hizo con el modelo matemático del sistema, para obtener los rizados de corriente de la bobina y del voltaje del capacitor, así como la relación del voltaje de salida. Para el análisis matemático se considera los dos modos de operación del convertidor. El sistema es simplificado en el análisis matemático suponiendo los inductores divididos como un solo inductor. Finalmente, se muestra los resultados de simulación y de implementación para corroborar el análisis matemático. La implementación del sistema fue probada en un prototipo experimental de 100 W, donde se realizaron pruebas de cambio de carga y cambio de ciclo de trabajo.

Abstract

In the present document the development and implementation of DC-DC converter known as buck converter with LC filter at the input are show. This converter consist of two active switches, two diodes, two divided coils and three capacitors. The increase in the number of devices with respect to the conventional reducing converter allows to reduce the stress electrical components and prolong the service life of the same. It is important to note that this converter has the advantage of using only one shot for the two switches. There were two mathematical analysis of the prototype. The first analysis is the average model space, where it is shown that the system is not linear. The second analysis was made with the mathematical model of the system, to obtain the curls of the coil current and voltage of the capacitor, as well as the output voltage ratio. For the mathematical analysis is considered to be the two modes of operation of the converter. The system is simplified in the mathematical analysis assuming the inductors divided as a single inductor. Finally, simulation and implementation results to corroborate the mathematical analysis, are presented. The implementation of the system was tested in an experimental prototype of 100 W, where load change and change of duty cycle.

Palabras Clave

Convertidor DC-DC, bobinas acopladas, estrés eléctrico.

INTRODUCCIÓN

Convertidores DC-DC

Los convertidores DC-DC se clasifican en aislados o no aislados, entre las topologías no aislados se encuentra la topología de convertidor reductor. Los convertidores DC-DC se usan extensamente en sistemas de suministro de energía DC regulados de modo de conmutación, para convertir el voltaje de DC, normalmente no regulado, en un voltaje de salida regulado de DC [1], [2].

Convertidor reductor convencional

Un convertidor reductor está diseñado para que la magnitud del voltaje de salida es siempre menor que la magnitud del voltaje de entrada, por lo que esta topología se puede utilizar para conectar tensión de voltaje de módulo alto o voltajes de batería [3]. Su aplicación principal es en fuentes de energía de DC regulada y el control de velocidad de motores DC [1]. Una nueva topología de Zhangetal. Para controlador MPPT con el convertidor reductor es una gran innovación para aplicaciones de micro-rejilla solar tiene inductancia variable. Entre otros usos el amplificador de corriente lineal (LCB) es una aplicación convertidora de DC-DC reductor. Es un MPPT de propósito especial, diseñado para las características del conjunto fotovoltaico a las de los motores de diseño para operaciones diurnas tales como bombeo, y especialmente para bajos niveles de iluminación. LCB permite el bombeo de hasta el 20% más fluido [3], [4].

MATERIALES Y MÉTODOS

La topología DC-DC reductor doble se muestra en la Figura 1. Está compuesta por inductores acoplados para reducir el espacio del prototipo, capacitores, con transistores de efecto de campo de metal oxido semiconductor de potencia (MOSFETs), diodos MUR. El sistema fue probado con una carga resistiva, donde se realizaron pruebas de cambio de carga de 10 a 20 Ω y de 20 a 10 Ω , también se realizaron cambio de ciclo de trabajo. En la tabla 1 se muestran los dispositivos y

semiconductores utilizados para la implementación del sistema.

A continuación, se muestran dos análisis. El primer análisis consiste en obtener el modelo promedio en espacio del estado del sistema, para verificar si es el sistema es lineal o no. El segundo análisis consiste en obtener el modelo matemático del sistema para calcular los valores de rizo de la bobina y el valor de rizo del capacitor, también para calcular la relación del voltaje de salida y de entrada.

Tabla 1: Dispositivos utilizados

Dispositivo	Valores
MOSFET (IRFPC60LC)	VGE=600V, IC=16A
Diodo MUR (1560)	V=600V, I=15A
Capacitor electrolítico	22 μ F
Capacitor MKP	10 μ F
Bobina acoplada L1	0.5 mH
Bobina acoplada L2	0.6 mH
Carga resistiva	10-20 Ω

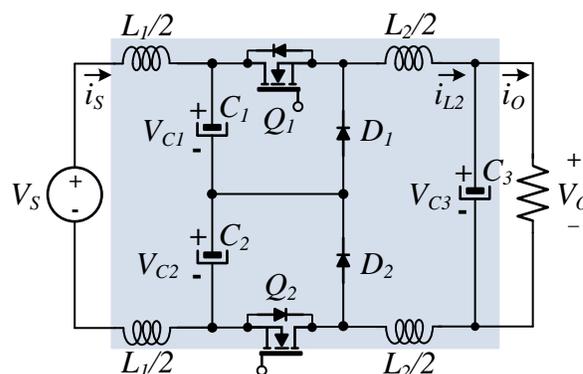


Figura 1. Topología del Convertidor reductor doble.

Análisis 1: modelo promedio en espacio de estados del sistema.

Para obtener el modelo promedio en espacio de estados del sistema, primero se simplifica el sistema suponiendo que las bobinas se unen en serie. Se definen las variables de estados como las corrientes de los inductores y los voltajes de los

capacitores, $i_{L1} \triangleq x_1$, $i_{L2} \triangleq x_2$, $v_{C1} \triangleq x_3$, $v_{C2} \triangleq x_4$ y $v_{C5} \triangleq x_5$.

El sistema es analizado de acuerdo a sus modos de operación como se muestra en la Figura 2. El análisis consiste en aplicar las leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff para obtener las ecuaciones de las variables de estados de cada modo de operación. Finalmente se realizan el modelo promedio del sistema, que nos arroja las ecuaciones (1) – (5). Se observa que el valor del ciclo de trabajo depende de las variables de estado y de salida, por lo tanto el sistema no es lineal en general.

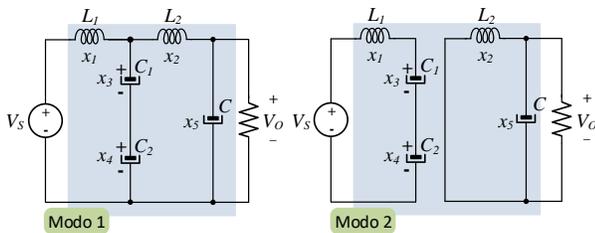


Figura 2. Circuitos equivalentes para los modos de operación del sistema.

$$L_1 \dot{x}_1 = -x_3 - x_4 + V_{DC} \quad (1)$$

$$L_2 \dot{x}_2 = kx_3 + kx_4 - x_5 \quad (2)$$

$$C_1 \dot{x}_3 = x_1 \quad (3)$$

$$C_1 \dot{x}_4 = x_1 \quad (4)$$

$$C_3 \dot{x}_5 = x_2 - \frac{x_5}{R} \quad (5)$$

Análisis 2: análisis matemático del sistema.

Para realizar el análisis matemático se hace la suposición que el capacitor proporciona un voltaje constante. Los valores obtenidos son para calcular el inductor y capacitor de salida, en modo de conducción continua.

En la Figura 3 se muestra los modos de operación del sistema. En el modo 1 y en el modo 2 se aplica la ley de voltaje de Kirchhoff. Se obtienen las expresiones (6) – (8) del análisis del modelo matemático. Se nota que, en la ecuación (6) la relación del ciclo de trabajo k es idéntico al de un convertidor convencional.

$$V_o = k V_S \quad (6)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_S k (1 - k)}{2fL} \quad (7)$$

$$\Delta V_C = \frac{V_S k (1 - k)}{16 f^2 L C} \quad (8)$$

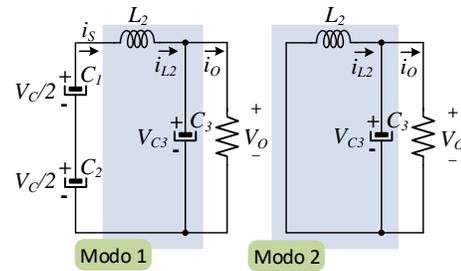


Figura 3. Modos de operación del convertidor reductor doble para el funcionamiento en modo de conducción continua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de simulación.

Se realizó una simulación con los parámetros mostrados en la tabla 2, para corroborar los cálculos obtenido en las ecuaciones (6) – (8). Las pruebas realizadas en lazo abierto consisten en realizar cambios de carga resistiva de 10 a 20 Ω y viceversa, considerando un ciclo de trabajo del 0.7. Otra prueba realizada es de cambiar el ciclo de trabajo de 0.3 a 0.7 y viceversa con una carga fija de 10 Ω . Los resultados de las pruebas en simulación se muestran en las Figuras 4 y 5. Cabe mencionar que las pruebas realizadas fueron por medio de una dSPACE 1104.

Tabla 2: Parámetros del diseño

Parámetros	Valores
Vs	48 V
f	20 kHz
k	0.3 - 0.7
R	10 – 20 Ω
L	0.5 mH
C	22 μ F

En la Figura 4 y 5 se muestra la corriente entrada i_s , la corriente de la bobina L_2 y el voltaje de la carga V_o . En la figura 4 se muestran los cambios de carga 10 - 20 Ω en el tiempo de 0.2 y 0.25 segundos. Posteriormente se realizó otro cambio de carga 20 - 10 Ω en el tiempo de 0.25 a 0.3 segundos. En la corriente de entrada i_s y corriente de la bobina L_2 se observan transitorios al realizar los cambios de carga. También se observa el rizo de ambos se mantiene aun cambiando la carga. En el voltaje de salida V_o se observan transitorios a los cambios de carga, manteniendo el voltaje promedio.

En la Figura 5 se muestran los cambios del ciclo de trabajo de 0.35 - 0.7 y viceversa con una resistencia de 10 Ω . Se puede notar que la corriente i_s y la corriente i_{L2} tienen un transitorio mayor que en caso de cambios de carga, pero el rizo en ambas corrientes se mantiene constante después de los transitorios. En voltaje V_o cambia de 14 V a 33 V de acuerdo al cambio de ciclo de trabajo y después de un transitorio se mantiene estable.

Resultados de implementación.

Para probar la parte de simulación se implementó un prototipo de 100 W. De la misma forma que en la simulación se realizaron cambios de carga y cambios de ciclo de trabajo. La implementación fue en lazo abierto y utilizando una dSPACE 1104. Los resultados de la implementación se muestran en las Figuras 6 al 8. Los parámetros utilizados son mostrados en la tabla 2.

En la figura 6 se muestran los valores de voltaje de salida V_o y la corriente del inductor i_{L2} y corriente de entrada i_s . En la tabla 3 se muestra la comparando de los resultados de la implementación con los resultados calculados.

Tabla 3: Comparación de valores

Parámetros	Valores reales	Valores calculados y en simulación
ΔV_C	1.2 V	0.12 V
ΔI_L	0.4 A	0.42 A

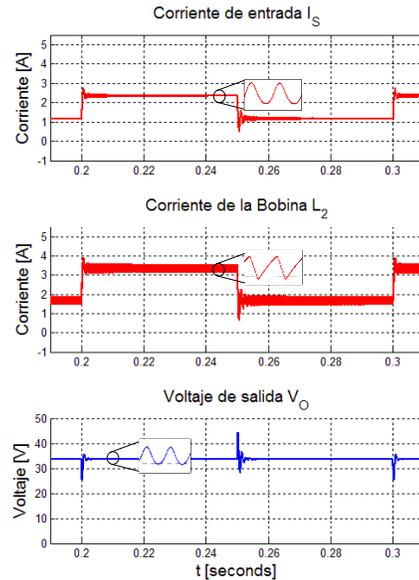


Figura 4. De arriba abajo, corriente de la fuente i_s , corriente de la bobina L_2 y voltaje de salida V_o , con cambios de carga de 10 a 20 Ω y viceversa, con un $k=0.7$.

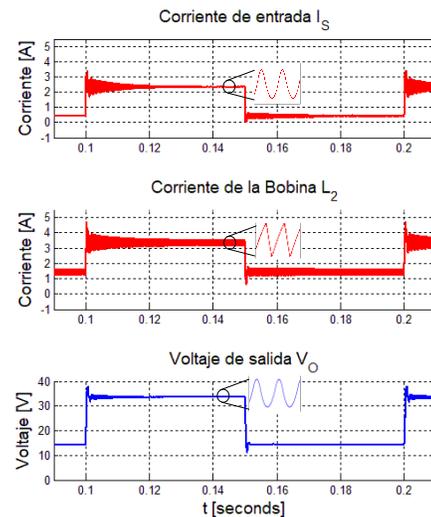


Figura 5. De arriba abajo, corriente de la fuente i_s , corriente de la bobina L_2 y voltaje de salida V_o , con cambios de k de 0.3 - 0.7 y viceversa, con una $R=10 \Omega$.

En la figura 7 se muestra los cambios de carga de 20 - 10 Ω y viceversa, con un ciclo de trabajo de 0.7. Se puede observar que al momento de cambio de carga de 20 a 10 Ω se genera un pico de voltaje de aproximadamente 8 V y que su voltaje promedio

a disminuye de 33 a 31 V debido al aumento de potencia. Al realizar el cambio de carga de 10 a 20 Ω , se genera un pico de voltaje de 10 V y el voltaje se recupera de 31 a 33 V. Las corrientes no sufren mucho efecto apenas tienen un sobretiro.

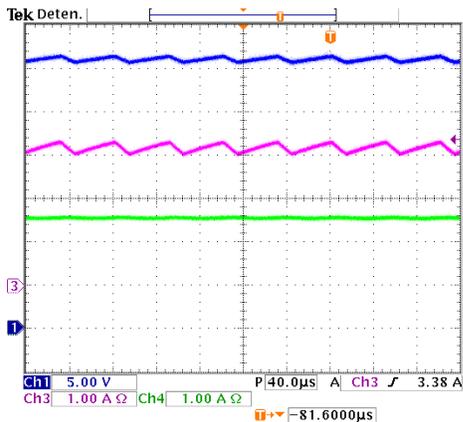


Figura 6. De arriba abajo, voltaje de salida V_o , corriente de la bobina L_2 y corriente de la fuente i_s en estado estacionario.

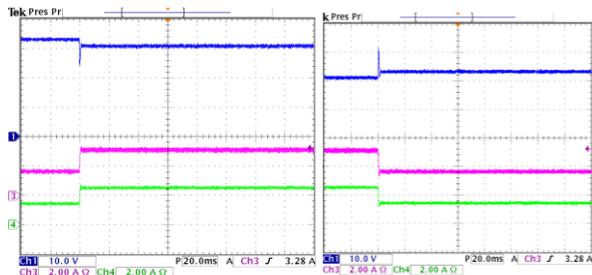


Figura 7. De arriba abajo, voltaje de salida V_o , corriente de la bobina L_2 y corriente de la fuente i_s , cambio de carga de 20 – 10 Ω , y de 10 – 20 Ω con ciclo de trabajo de 0.7.

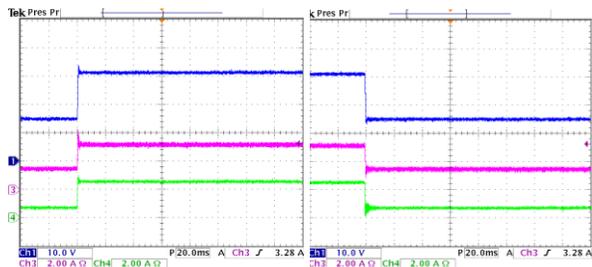


Figura 8. De arriba abajo, voltaje de salida V_o , corriente de la bobina L_2 y corriente de la fuente i_s , cambio de ciclo de trabajo de 0.3-0.7 y 0.7-0.3, con carga de 10 Ω .

En la Figura 8 se muestran las pruebas con cambio en el ciclo de trabajo de 0.35 – 0.7 y viceversa con

una carga resistiva de 10 Ω . Al aumentar el ciclo de trabajo de 0.3 a 0.7 se nota el aumento de voltaje de 15 a 31 V. El voltaje tiene un sobretiro de 4 V. Al realizar el cambio de trabajo de 0.7 a 0.3, el voltaje disminuye de 31 V a 15 V. Las corrientes nuevamente presentan un pequeño sobretiro.

En el caso de cambios de carga, se tiene un mayor sobretiro en los voltajes. Los valores obtenidos de voltaje y corriente promedio corresponden a los valores simulados, en cambios de carga y cambios de ciclo de trabajo.

CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra el diseño de un reductor doble en modo de conducción continua. Se presenta dos análisis, el modelo promedio de variables de estado y el análisis matemático para obtener los rizados del capacitor e inductor. Se realizaron simulaciones del sistema y también se diseñó un prototipo de 100 W para corroborar los datos obtenidos. El convertidor reductor doble presenta mayores sobretiros en el capacitor al realizar cambios de carga que al realizar cambios de ciclo de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al ITESI, al laboratorio de electrónica de Potencia por permitirme realizar el trabajo en colaboración de mí asesor Cesar Augusto Limones Pozos, al cual también agradezco por su apoyo en la investigación y desarrollo del trabajo, también agradezco al Dr. J. Miguel por apoyo y sus consejos en la mejora del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Mohán, M. Underland, P. Robbins. Electrónica de Potencia (tercera edición). Mc Graw Hill
- [2] H. Rashid (2004). Electrónica de Potencia (tercera edición). PEARSON EDUCATION.
- [3] M. h. Taghvaei, M.A.M. Radz, S.M. Moosavain, Hashim Hiizan, M. Hamiruce(2013). A current and future study on non-isolated DC–DC converters for photovoltaic applications;17(216-277), 218-220.
- [4] Eltawi M. A., Zhao Z. Grid, Connected photovoltaic power system technical and potential problems. Renewable and Sustainable Reviews 2009; 13(1800), 18.