

# Diseño y simulación de un convertidor CD-CD tipo Full-Bridge dual de baja potencia

Ismael Sánchez Rincón, Juan Antonio Arízaga Silva, Luis Ignacio Olivos Pérez  
 Maestría en Ingeniería en Automatización de Procesos Industriales, Universidad Politécnica de Puebla, 3er Carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá, Juan C. Bonilla, Puebla.  
 pictrance@outlook.com, juan.arizaga@uppuebla.edu.mx, luis.olivos@uppuebla.edu.mx

## Resumen

Resumen – En el presente trabajo se muestra el diseño de un convertidor CD-CD aislado de 2KW de potencia tipo puente completo (Full-Bridge) dual con 48VDC de entrada a 310VDC en la salida, que se usará en la implementación de un inversor trifásico. De igual forma se presenta los resultados de la simulación del convertidor, los resultados permiten adelantar que la elección de la topología cumplirá con los parámetros elegidos para una carga de 2.KW.

Palabras clave – convertidor, full-bridge, simulación

## Nomenclatura

$V_o$	Voltaje de salida (VDC)
$N_s$	Número de vueltas secundario
$N_p$	Número de vueltas primario
$V_{in}$	Voltaje de entrada (VDC)
$f_c$	Frecuencia de conmutación (Hz)
$P_{sal}$	Potencia de salida (W)
$D_c$	Densidad de corriente (constate = 400A/cm <sup>2</sup> )
$\beta_{Nom}$	Densidad de flujo nominal del núcleo en (G)
$\beta_{Sat}$	Densidad de flujo en saturación del núcleo (G)
$A_c$	Área de ventana del núcleo
$A_e$	Área efectiva del núcleo
D	Duty cycle
K	Constante = 4 para onda cuadrada
$V_{son}$	Voltaje del Mosfet durante el periodo de encendido
$V_{don}$	Voltaje del diodo de salida del convertidor, durante el periodo de encendido

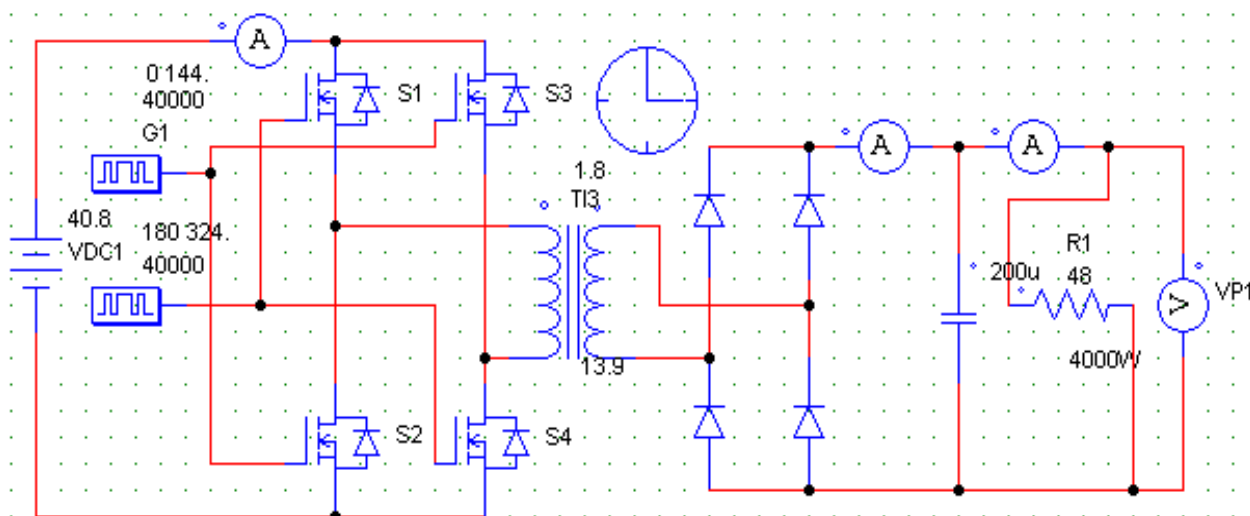


Figura 1 d

Diagrama de un convertidor Full-bridge simple

## 1. Introducción

En la actualidad los sistemas de alimentación de potencia en el mercado son diseñados en la base de circuitos conmutados de alta frecuencia. El estado del arte de estos circuitos, muestra que se busca hacer más eficiente la conversión de energía; para lograr esto se buscan diversas técnicas de control [1].

Por ejemplo en [2] se presenta el desarrollo de un *boost converter* diseñado para celdas de combustible que presenta un núcleo con bajas fugas de inductancia así como el uso de diodos de carburo de silicio como rectificadores, esto produce una mejora en la eficiencia alcanzando niveles del 96.8% a 1.5KW.

En [3] se presenta el desarrollo de un *boost converter* aislado para aplicaciones de celdas de combustible de alta potencia y bajo voltaje, donde se usan 4 núcleos conectados en paralelo en la entrada y conectados en serie a la salida, obteniendo una potencia de 2.5KW por núcleo teniendo una potencia total de 10KW a la salida con una eficiencia del 98.2%

Otro ejemplo es en [4] donde se presenta un *boost converter* aislado diseñado para bajo voltaje y alta eficiencia en el cual se analizan los efectos de corrientes parásitas y de proximidad en el transformador donde se demuestra que es necesario usar entrelazados en los devanados del transformador y se analiza la inductancia de fuga del transformador, se usa un convertidor de 1.5KW logrando una eficiencia del 96.8% y una máxima propuesta del 98%.

El presente trabajo presenta el modelo matemático de un convertidor CD-CD de alta frecuencia basado en la topología dual full Bridge, las ecuaciones de control y los valores establecidos para el convertidor son presentados.

En la siguiente sección se presenta el diseño del transformador de alta frecuencia presente en la *Figura 1*. Las características del transformador son diferentes a aquellos utilizados a 60Hz. Se presentan los principales aspectos de diseño así como los efectos en el transformador.

Por último se muestra el desarrollo de la simulación realizada en el software PSIM con lo que se pretende analizar si este tipo de topología soportará la carga para la cual está pensado el convertidor.

## 2. Convertidores DC-DC

En la actualidad las fuentes de media y alta potencia eléctrica para sistemas de telecomunicaciones, automotrices, equipos médicos o de oficina están basados en circuitos conmutados de alta frecuencia, conocidos como SMPS (Switch Mode Power Supply). Estos circuitos realizan conmutaciones de encendido y apagado de dispositivos semiconductores, Transistores de Efecto de Campo (FET), o Transistores Bipolares de compuerta aislada (IGBT) a altas frecuencias (desde 50 KHz hasta el orden de Mhz) [1].

El voltaje de salida es controlado variando la fase, la frecuencia, o el ciclo de trabajo de la señal de control de las conmutaciones de los semiconductores.

Los SMSP pueden realizar la tarea de convertir la corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), realizar la operación contraria DC-AC; convertir de AC a AC modificando las características de frecuencia o amplitud de la salida.

Para el caso de sistemas de potencia cuya fuente primera de energía es DC y es necesario modificar el nivel de salida de voltaje o la potencia suministrada existen los convertidores DC-DC [5].

Los convertidores DC-DC se diseñan para realizar la tarea de reducir (*Buck Converter*) o elevar (*Boost Converter*) el voltaje de salida para permitir que la eficiencia de salida del circuito se mantenga en niveles por arriba del 80% [6].

Existen topologías que permiten que los convertidores puedan trabajar en ambos modos de operación (*Buck-Boost*). Y también dentro de la literatura y a nivel comercial diversas soluciones basadas en otras topologías las cuales dependen básicamente de la potencia de salida del sistema [6].

La *Tabla 1* muestra la relación entre las topologías de los convertidores y la Potencia suministrada a la salida.

Topología	Rango de Potencia (W)	Rango de $V_{mDC}$	Entrada/Salida a Aislada	Eficiencia típica (%)
<i>Buck</i>	0-1000	5-40	No	78
<i>Boost</i>	0-150	5-40	No	80
<i>Buck-boost</i>	0-150	5-40	No	80
<i>Forward</i>	0-150	5-500	Sí	78
<i>Flyback</i>	0-150	5-500	Sí	80
<i>Push-pull</i>	100-1000	50-1000	Sí	75
<i>Half-bridge</i>	100-500	50-1000	Sí	75
<i>Full-bridge</i>	400-2000+	50-1000	Sí	73

Tabla 1 Comparativa entre las diferentes topologías de convertidores CD-CD

### 3. Teoría de la topología Full-bridge

Derivado de la revisión de los trabajos presentados por [1], [2], [3], [4], [7], [8] se tomó la decisión de realizar un convertidor con topología Full Bridge dual el cual permitirá cumplir con los objetivos planteados del trabajo:

- Diseñar un convertidor con un voltaje de entrada de  $48 \text{ VCD} \pm 15\%$
- Que tenga una salida de  $320\text{VCD} \pm 1\%$
- La frecuencia de conmutación debe ser de  $50\text{Khz}$
- La potencia máxima de salida será de  $3\text{kW}$

En la *Figura 1* se observa el circuito esquemático de un Convertidor DC-DC Full Bridge, el cual fue analizado para obtener las ecuaciones que controlan su funcionamiento.

Este Convertidor tiene básicamente dos modos de operación

- S1 y S4 encendidos, S2 y S3 apagados.
- S1 y S4 apagados, S2 y S3 encendido.

Seguidos de dos modos transitorios de operación cuando los cuatro semiconductores están apagados.

Tomando como referencia el estudio realizado en [Microchip] se encuentra que la Salida de voltaje  $V_O$  viene dada por la ecuación:

$$V_O = \left[ \frac{N_S}{N_P} (V_{in} - 2V_{son}) - V_{Don} \right] D \quad (1)$$

Basados en la información [5] los dispositivos de conmutación utilizados en este diseño deben cumplir con:

- Los dispositivos que funcionan como conmutadores son transistores que operan en la región de saturación y cuentan con diodos conectados en paralelo inverso para proporcionar un flujo de corriente bidireccional [5].
- Los transistores utilizados en sistemas de potencia son básicamente BJT, MOSFET e IGBT.
- Estos dispositivos deben tener baja resistencia en conducción, lo que permite menores pérdidas por disipación de potencia
- Alta velocidad de conmutación, lo que permite utilizar frecuencias mayores a  $100\text{Khz}$ .
- Soportar un alto potencial entre las terminales

Por otro lado los diodos utilizados no son convencionales y deben cumplir con las siguientes características.

- Tiempo de recuperación inversa bajo ( $\mu\text{S}$ )
- Tiempo de recuperación directa bajo
- Los diodos deberán soportar una alta  $di/dt$  sin sufrir daño

En general este tipo de circuitos pueden conducir altas corrientes. Como se vio en la sección anterior los valores de voltaje y corriente dependen de la potencia del convertidor.

En cuanto al transformador que se observa en la *Figura 1*, el estudio del estado del arte del diseño de transformadores lleva a las siguientes consideraciones:

- En este tipo de convertidor el transformador provee aislamiento entre la entrada y salida del convertidor
- Los transformadores son diseñados para conmutar a altas frecuencias, esto permite que el volumen del transformador sea menor que su contraparte de frecuencias a  $60 \text{ Hz}$ .
- Al trabajar en altas frecuencias se hace necesario utilizar un núcleo ("core") de un material distinto a los transformadores convencionales, permeabilidad alta.

Existen diversos elementos asociados al diseño de transformadores en altas frecuencias que no aparecen a bajas frecuencias, como lo son el efecto piel y proximidad en los conductores del transformador [9].

En la sección siguiente se verá el diseño de los transformadores de potencia para este tipo de convertidores.

### 4. Diseño de los transformadores

Antes de comenzar con el diseño de los elementos magnéticos se enlistan los parámetros de entrada y salida del convertidor.

- $V_{in} = 48 \text{ VCD} \pm 15\%$
- $V_O = 320 \text{ VCD} \pm 1\%$
- $f_c = 50 \text{ Khz}$
- $P_{sal} = 2 \text{ kW}$

Para el diseño de los transformadores se hizo un estudio de los materiales disponibles comercialmente

con los que están contruidos. Para el diseño de transformadores hay una extensa bibliografía [10], [9], [11]; para la cual se tomó como referencia [11], el diseño del transformador se utiliza el método llamado “producto de áreas” el cual está dado por la siguiente fórmula:

$$A_c A_s = \frac{0.68 P_{sal} D_c 10^3}{f_c \beta_{Nom}} \text{ cm}^4 \quad (2)$$

Buscando en el catálogo de la empresa Ferroxcube se encontró el material 3C90 para convertidores de potencia a baja frecuencia ( $\ll 400\text{Khz}$ ) con un  $\beta_{sat}$  de 380mT y una potencia de salida para cada transformador de 1000W, resolviendo la fórmula “producto de áreas” se obtiene el resultado:

$$A_c A_s = \frac{0.68 \cdot P_{sal} \cdot D_c \cdot 10^3}{f_c \cdot \beta_{Nom}} = 2.43 \text{ cm}^4 \quad (3)$$

Con lo cual buscando en el catálogo de transformadores EC en Ferroxcube se encontró el modelo EC52 que tiene un “producto de áreas” de 3.82  $\text{cm}^4$  con un  $A_s = 1.8 \text{ cm}^2$

Para calcular el número de vueltas en el primario se hace uso de la siguiente fórmula:

$$N_p = \frac{V_{in} 10^8}{K f_c \beta_{Nom} A_s} = 6.0 \quad (4)$$

Donde  $\beta_{Nom}$  está dada por:

$$\beta_{Nom} = \frac{\beta_{sat}}{1.7} = \frac{3800}{1.7} = 2235.2 \text{ G} \quad (5)$$

Para obtener el número de vueltas del secundario

$$N_s = \frac{V_o}{V_{in}} N_p = \frac{320V}{48V} (5) \cong 40 \quad (6)$$

Lo cual da una relación de 20 vueltas a la salida para cada núcleo.

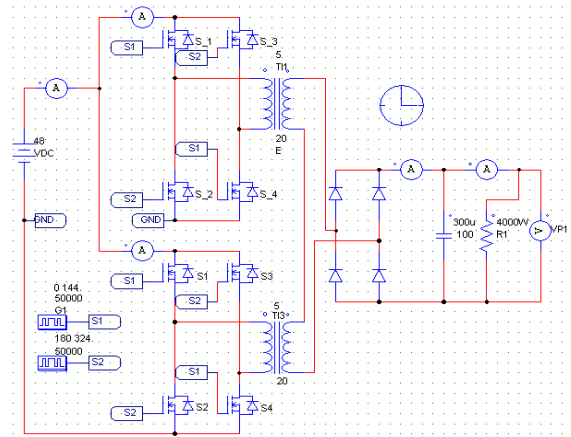


Figura 2 Diagrama del Full-Bridge Dual

### 5. Simulación del convertidor

Una vez terminados los cálculos para el diseño del transformador se procedió a simular el convertidor full-bridge dual (Figura 2) en PSIM utilizando como referencias los valores reales de las hojas de datos de los transistores (Irf4368 [12] ) y de los diodos (Mur1660 [13]).

### 6. Análisis de resultados

En el presente artículo se muestra el diseño y simulación de un convertidor de CD-CD full-bridge aislado galvánicamente en el cual se muestra la teoría del convertidor y del cómo se eligió el núcleo para poder obtener el número de vueltas del primario y del secundario para finalizar con una simulación en PSIM y poder verificar si los datos obtenidos eran reales, en

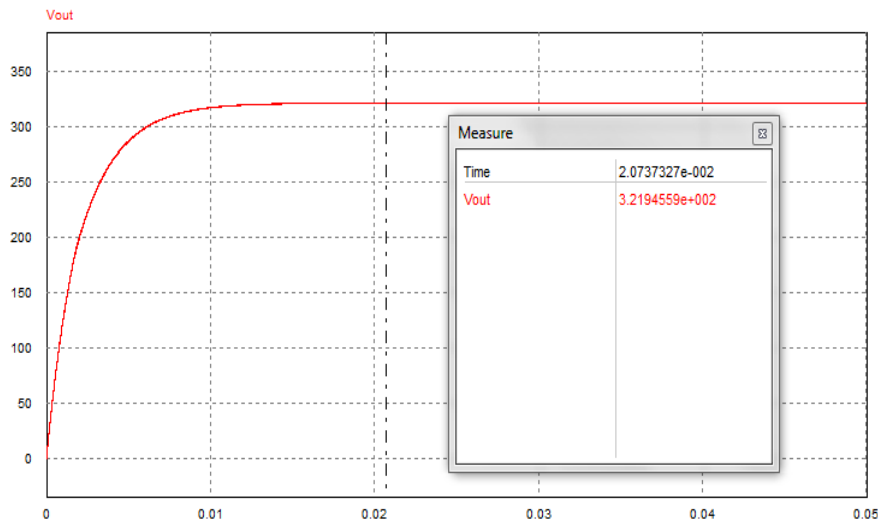


Figura 3 Voltaje a la salida del full-bridge con una carga de 51.2 Ω

la Figura 3 se puede observar un voltaje a la salida de 321.9 VCD con una carga de  $51.2 \Omega$  con un voltaje de entrada 48VCD.

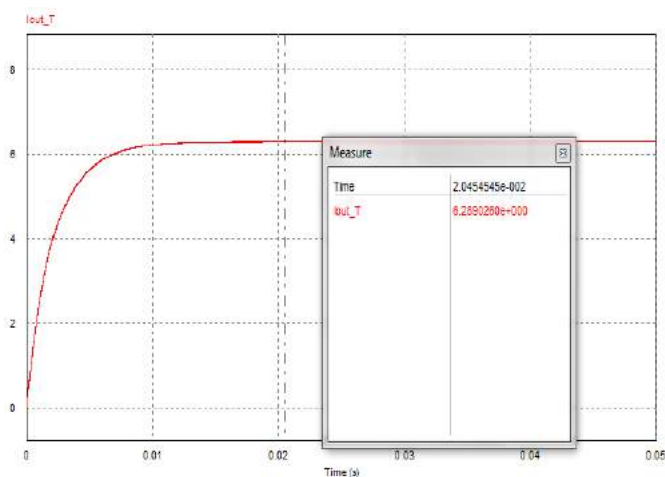


Figura 4 corriente a la salida del convertidor

En la Figura 4 se puede observar la corriente de salida que sigue la misma trayectoria del voltaje hasta llegar a una corriente máxima de 6.28A lo cual nos da una potencia máxima a la salida de 2.021 KW

En la figura 5 se tiene la gráfica de la corriente total a la entrada en el cual se puede observar que la corriente de entrada es elevada en un principio y después normalizarse este fenómeno se debe a que en la simulación la carga de  $51.2 \Omega$  está conectada desde el inicio pero se estabiliza después de 1mS llegando al consumo de 45.56A con un voltaje de entrada de 48VCD obteniendo una potencia de entrada de 2.186 KW por lo cual en la simulación de éste convertidor se tiene una eficiencia del 92.4%.

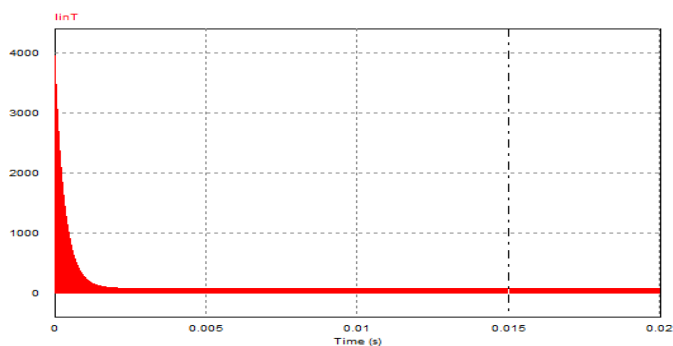


Figura 5 corriente total a la entrada del convertidor

## 7. Referencias

- [1] A. Bersani, *Switch Mode Power Supply (SMPS) Topologies (Part II)*, Microchip, 2009.
- [2] M. Nymand y M. Andersen, *A new approach to high efficiency in isolated boost converters for high-power low-voltage fuel cell applications*, 2008.
- [3] M. Nymand y M. Andersen, *A new very-high-efficiency R4 converter for high-power fuel cell applications*, 2009.
- [4] M. Nymand y M. Andersen, *High-efficiency isolated boost DC-DC converter for high-power low-voltage fuel-cell applications*, 2010.
- [5] M. H. Rashid, *Electrónica de Potencia*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1999.
- [6] M. Brown, *Power Sources and Supplies*, Newnes, 2007.
- [7] F. Taeed y M. Nymand, *Modeling and control of isolated full bridge boost DC-DC converter implemented in FPGA*, 2013.
- [8] G. Sen, Z. Ouyang, O. Thomsen, M. Andersen y L. Moller, *A High Efficient Integrated Planar Transformer For Primary-Parallel Isolated Boost Converters*, 2010.
- [9] R. E. Carrillo Díaz, *Diseño de elementos magneticos en alta frecuencia*, Cuernavaca, Morelos, Mexico, 2004.
- [10] A. Gonzalez, R. Cesari y R. Vicioli, *Diseño de transformadores con ferritas lieales*, 2009.
- [11] A. Vazquez Blanco, *Acondicionador de potencia para sistemas de alimentacion basados en celdas de combustible*, cuernavaca, Morelos, Mexico, 2010.
- [12] I. Rectifier, *Hoja de datos del fabricante*, 2008.
- [13] S. Microelectronics, *Hoja de datos del fabricante*, 2005.