

## INVESTIGACIÓN

**Circuito Convertidor DC-AC Para Cargas Inductivas**Francisco Franco Obando<sup>1</sup>, Javier Alfonso Grueso<sup>2</sup>, Daniver Torres<sup>2</sup>

1 Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

2 Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia.

Recibido: 26 de mayo de 2011; revisado: 12 de junio de 2011; aceptado: 28 de julio de 2011.

**Resumen**— En este documento se presenta el diseño, simulación e implementación de un convertidor DC - AC. La salida AC del convertidor es de frecuencia ajustable, la cual se modifica desde el circuito de control de disparo de la etapa de potencia. El convertidor es alimentado con una fuente de tensión DC de 10V y entrega una señal AC de 20V la cual se amplifica por medio de un transformador monofásico.

**Palabras Clave:** Inductancia, Conmutación, Ciclo de Trabajo, Valor Medio y Tiempo Muerto.

**Abstract**— This paper presents the design, simulation and implementation of a DC - AC. The inverter output AC frequency is adjustable, which is modified from the firing control circuit of the power amplifier. The converter is supplied with a DC voltage source and delivering a 10V 20V AC signal which is amplified by a single-phase transformer.

**Keywords:** Inductance, switching, duty cycle, mean and downtime.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas de conversión de energía eléctrica se encuentran los convertidores de señal de tensión y corriente llamados convertidores DC-DC, AC-DC, AC-AC y DC-AC. El actual interés en la implementación de este tipo de sistemas se debe a los crecientes desarrollos y mejoras en los dispositivos semiconductores de potencia así como en los dispositivos programables. Estas mejoras se relacionan con la eficiencia, la frecuencia de conmutación, la velocidad de procesamiento y los rangos de potencia que soportan los dispositivos.

En este trabajo se presenta una implementación sencilla de un convertidor DC-AC que facilita la comprensión y permite una visualización general de su funcionamiento a partir de los conceptos básicos de este tipo de convertidores, los cuales generalmente son estudiados como inversores. En la sección dos de este documento se hace referencia a los conceptos y principios que rigen el funcionamiento de los inversores monofásicos; en la tercera parte se expone el diseño del inductor y posteriormente se indican los resultados esperados del circuito abierto implementado la simulación. Luego de

esto, se muestran los resultados obtenidos al implementar el circuito para finalizar con las conclusiones de este desarrollo.

## II. EL CONVERTIDOR DC-AC

Este tipo de convertidores son estudiados ampliamente en la literatura, dada su importancia en la conversión, transmisión y regulación de energía eléctrica. En [1-4] se muestran algunas de las aplicaciones más relevantes de estos convertidores, en [3] y [5] se puede ver desarrollos que parten del análisis teórico y del desempeño de los inversores y convertidores en general.

Con base en lo expuesto en [6], se puede decir que los convertidores de energía eléctrica representan una herramienta para el control de la energía y distribución de la potencia eléctrica. Los inversores son dispositivos indispensables en el accionamiento eléctrico de motores y cargas trifásicas en el campo industrial, su desempeño y características afectan en forma proporcional el consumo de energía, de allí la relevancia de estudiar su eficiencia e impacto en el diseño de plantas y maquinaria industrial.

Bases de funcionamiento: la estructura básica de un inductor monofásico es como la indicada en la figura 1, este convertidor está compuesto por cuatro semiconductores de potencia los cuales trabajan en sus zonas de corte y saturación; es decir, conmutan entre los estados de conducción y no conducción. En esencia lo que sucede es que la tensión DC de alimentación del circuito es aplicada a la carga por medio de la conmutación de los transistores.

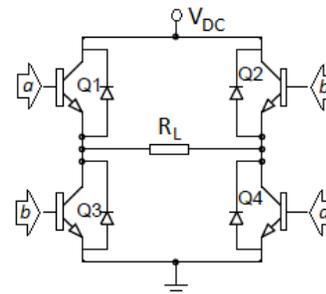


Fig. 1. Esquema básico del inductor.

De acuerdo con el esquema de la figura 1, nunca pueden estar activos los transistores de una misma rama dado que se cortocircuitaría la fuente, en este diseño las señales de activación o disparo de los semiconductores de potencia de una misma rama deben ser complementarias; entonces, cuando

conducen los transistores Q1 y Q4 el voltaje en la carga será VDC con una polaridad, la señal de activación es la misma para estos dos transistores. Ahora, cuando se activan los transistores Q2 y Q3 la señal VDC caerá en la carga pero con polaridad opuesta.

La señal vista en la carga es una señal discontinua la cual conmuta entre VDC y -VDC, la frecuencia de la señal de salida dependerá de la frecuencia de la señal de activación de los transistores y como se distribuya su activación, la idea es que la señal discontinua de salida de un inversor promedie una señal AC tal como se indica en la figura 2.

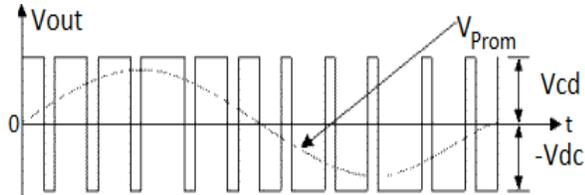


Fig. 2 Señal de salida de un inversor monofásico.

Un aspecto fundamental en el diseño de los convertidores conmutados es la consideración del tiempo muerto en los transitorios de cada transistor, esto refiriéndose al tiempo que tardan los dispositivos semiconductores en cambiar de estado. Estos tiempos se deben respetar para no generar cortos en las ramas de un inversor.

Señales PWM de activación: para que la salida de un inversor promedie una señal alterna, es necesario gobernar la conmutación de los transistores por métodos de modulación, la modulación por ancho de pulso es una técnica muy utilizada para generar un tren de pulsos que controla el accionar del puente inversor. En la literatura [2,3] se exponen diversos métodos de control para el inversor que hacen uso de técnicas de modulación que van desde las SPWM hasta la modulación vectorial. Cada técnica en sí presenta un formalismo claro y definido pero en esencia llegan al hecho de generar una señal PWM que hace conmutar los transistores de potencia y permite manipular las características de la señal de salida.

La señal de salida si bien es una señal discontinua que conmuta entre dos estados, promedia un valor medio dado por la ecuación (1), lo cual permite validar lo indicado en la figura 2.

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{out}(t) dt \quad (1)$$

Con la ecuación (1) se determina el valor medio en cada periodo de conmutación, luego es posible ajustar el PWM en cada periodo de conmutación para que en un periodo más largo promedie una señal deseada, que en el caso del inversor es una señal de 60 Hz.

### III. DISEÑO DE UN CONVERTIDOR DC-AC

En este trabajo se implementará un inversor de medio puente con la ayuda de un transformador monofásico con tab central, es decir que cada rama del inversor estará compuesta

por un solo transistor de potencia. Como se mencionó anteriormente los convertidores de energía trabajan con señales de activación que hacen que los dispositivos semiconductores de potencia conmuten, para el desarrollo de este proyecto, dado que el interés es ver el fenómeno de la conversión, se implementó un circuito sencillo para generar las señales de conmutación para las ramas del inversor. El circuito generador de las señales se indica en la figura 3. Éste se compone de un oscilador LM555 configurado como estable con una señal de salida de frecuencia variable dependiendo del valor que tome el potenciómetro. La señal cuadrada entregada por el oscilador varía su frecuencia entre 3 KHz y 5.1 KHz con un ciclo de trabajo que esta entre 70% y el 85%, esta señal del oscilador pasa por un fit-flop tipo D para obtener un par de señales complementarias A y B que son las encargadas de conmutar los transistores de potencia.

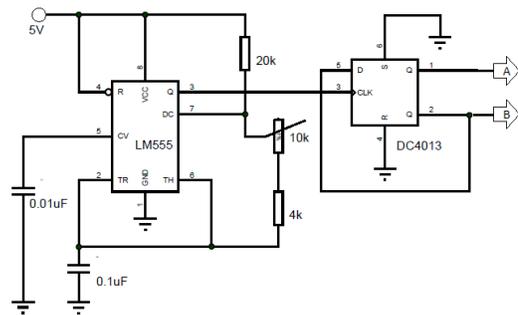


Fig. 3. Circuito generador de señales.

El convertidor propuesto se ilustra en la figura 4. Este circuito esta compuesto por transistores de baja potencia como el 2N3904 y el BD136 encargados de activar los transistores de potencia 2N3055, los cuales están acoplados a un diodo de conmutación rápida como un shottky; en el circuito también se cuenta con un transformador monofásico de 120V/24V con tab central y de 2 A.

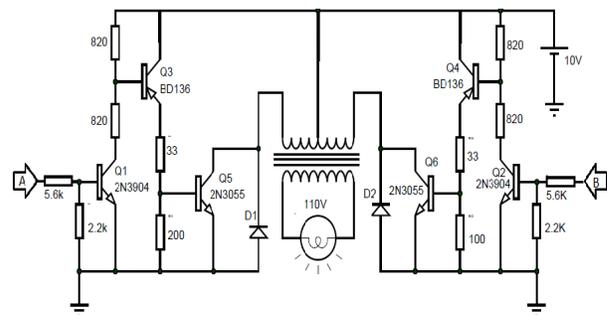


Fig. 4. Circuito del convertidor DC-AC monofásico.

Como se observa, el circuito es alimentado con una fuente de tensión DC de 10V, el transformador se conecta de forma que la señal entregada en el colector de los transistores Q5 y Q6 alimenten el lado de bajo voltaje del transformador y su tab central se conecta a la fuente DC.

La idea del circuito es que conmuten de forma complementaria los transistores Q5 y Q6 por acción de las señales A y B entregadas por el circuito de la figura 3. Entonces, cuando el transistor Q5 conduce el transistor Q6 está

en corte, al saturar el transistor Q5 se le está aplicando una tensión de 10V a uno de los devanados del transformador y este lo vera con una polaridad positiva.

Ahora, cuando el que se satura es el transistor Q6 se le aplican los 10V al otro devanado del transformador y este lo verá con polaridad negativa; es decir, que un ciclo de conmutación periódico la señal que se le aplicara la lado de bajo voltaje del transformador conmuta entre 10V y -10V esta variación es una señal alterna de tensión que hace que el transformador induzca una tensión mayor en el lado de alto voltaje para así entregarla a la carga.

#### IV. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

Antes de implementar el circuito sobre una QT se hicieron pruebas en el simulador, para esto se usó del software ISIS Proteus. Al desarrollar el circuito en Proteus se analizaron las señales en los siguientes puntos: primero la señal entregada por el fit-flop y cómo ésta activa el transistor de potencia Q6, luego se observa la señal entregada al lado de bajo voltaje del transformador. Los resultados de simulación se pueden observar en la figura 5, donde es clara la acción de conmutación y los valores de tensión vistos en cada punto.

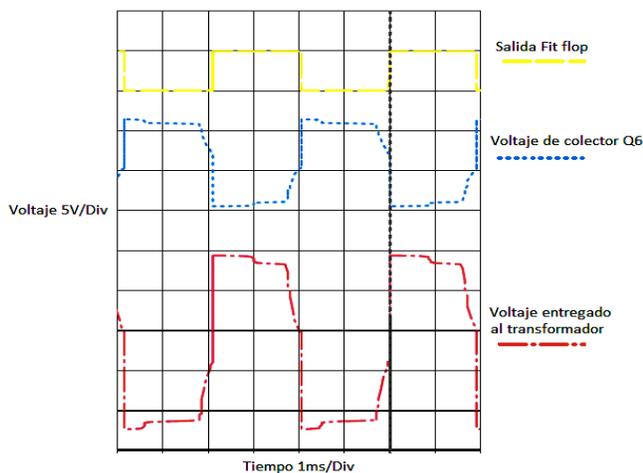


Fig. 5 Señales obtenidas en el simulador.

Otro aspecto importante es observar el efecto del transformador. El transformador es una estructura compuesta por inductores los cuales a su vez forman un filtro para las señales entregadas por el inversor, esto hace que la forma de onda varíe de acuerdo a las características del transformador como: inductancia, resistencia de los conductores, la relación de voltaje entre el primario y el secundario, así como de la reluctancia de la estructura ferromagnética. Para el caso en estudio se probó con una carga inductiva de 10mH y su comportamiento según el simulador es como se indica en la figura 6.

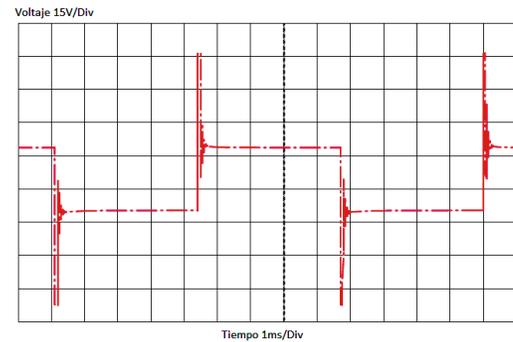


Fig. 6. Señal entregada a la carga.

Luego de examinar el comportamiento coherente de las señales en los diferentes puntos del circuito según la simulación, se procede a la implementación del mismo para corroborar en la práctica el desempeño del convertidor. En la imagen 1 se observa una de las señales entregadas por el fit-flop con un ciclo de trabajo del 70%. En la imagen 2 se indica la señal que se observa entre el colector de Q6 y tierra, de igual forma en la imagen 3 se muestra la señal entregada al transformador. De acuerdo con estos resultados se puede decir que el circuito diseñado y simulado cumple con los valores y características esperadas y es clara la validez de las señales de la figura 5.



Imagen 1. Señal entregada por el fit-flop, 5V/Div en el eje vertical y 10ms/Div en el eje horizontal.



Imagen 2. Señal en el colector Q6, 5V/Div en el eje vertical y 10ms/Div en el eje horizontal.

Por otro lado, se verificó la señal entregada por el transformador a la carga, esto se puede observar en la imagen 4. El desempeño del transistor visto en la imagen 3 y en la figura 6 se debe a las características electromagnéticas que presentan el transformador y el efecto de la carga.

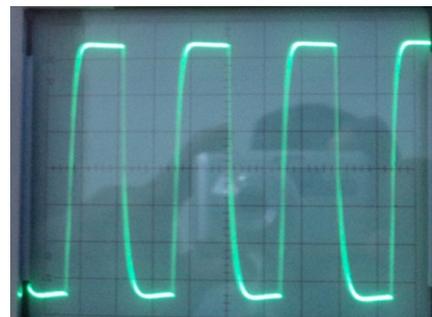


Imagen 3. Señal entregada al lado de alto voltaje del transformador, 3.2V/Div en el eje vertical y 1ms/Div en el eje horizontal.

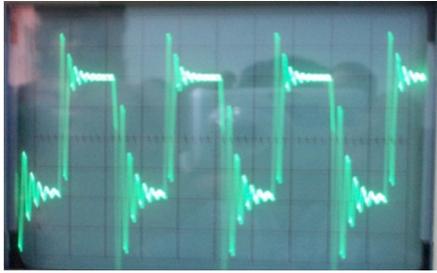


Imagen 4. Señal entregada a la carga inductiva, 20V/Div en el eje vertical y 10ms/Div en el eje horizontal.

## V. CONCLUSIONES

Este tipo de trabajos permiten aclarar los conceptos en temáticas de circuitos de potencia, específicamente en el área de transformación de energía eléctrica. Los convertidores de señal de potencia son sistemas muy importantes en la distribución y control de la energía eléctrica, esto se demuestra con el hecho de que la señal de salida de un convertidor se puede controlar con la señal que dispara de los dispositivos de potencia.

La validez de los resultados se evidencia en el hecho de que para que un transformador trabaje la señal que ingrese a él debe ser alterna; es decir, debe presentar un nivel de tensión y su variación debe ser periódica. Luego el objetivo de convertir la señal de DC en AC se cumple puesto que se está obteniendo una señal a la salida del transformador

## REFERENCIAS

- [1] García, L. "Diseño y construcción de un convertidor controlado AC-DC monofásico", tesis de grado Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica, 2005.
- [2] Carmona A, Arroyave, M. "Diseño e implementación de un convertidor DC-AC para excitación con impulsos rectangulares de un pizoactuador PZT", Revista Colombiana de Física, vol. 40, No. 1, Abril 2008.
- [3] J.A. Ravelo, S. de Pablo, A. B. Rey, y S. Lorenzo. "Control de convertidor DC-DC para carga de Baterías en sistemas fotovoltaicos de potencia", Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad de Valladolid, 2004.
- [4] Larco, V., Larco, D., "Diseño y construcción de un inversor de alta frecuencia basado en microcontrolador para el sellado de materiales plásticos por inducción electromagnética", Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002.
- [5] Idowou, P. (2004), In search of a perfect power engineering program. IEEE TransactionsonEducation, Vol. 47, p. 410 - 414.  
Li, Y., Lee, F. y Boroyevich, D. (2004). IGBT device application aspects for 50-kW zerocurrent-transition inverters. IEEE Transactions on Industry Applications, 40, 1038 - 1048.

**Francisco Franco Obando:** Ingeniero Físico de la Universidad del Cauca, Magister en Electrónica y Telecomunicaciones, Docente del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

**Javier Alfonso Grueso:** Estudiante del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

**Daniver Torres:** Estudiante del programa de Ingeniería Electrónica de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca