

GENERACIÓN DE UN PATRÓN PWM PARA UN CONVERTIDOR CD-CD BIDIRECCIONAL DOBLE PUENTE ACTIVO

Leonel Estrada Rojo

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

l.estrada@itsur.edu.mx

Julio Ortega Alejos

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

l.estrada@itsur.edu.mx

José Eli Eduardo González Duran

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

l.estrada@itsur.edu.mx

Resumen

En el presente artículo se muestra el desarrollo de la generación de un patrón PWM para el control de un convertidor doble puente activo, el cual es un convertidor CD-CD bidireccional. Este convertidor puede ser usado en micro redes de CD como una alternativa para permitir el flujo de potencia entre un sistema de almacenamiento y el bus de CD que alimenta a las cargas. El patrón es programado en LabVIEW el cual permite programar utilizando un lenguaje gráfico, lo que lo hace más sencillo que un lenguaje de descripción de hardware. La implementación del patrón se realiza en una tarjeta MyRIO que utiliza una arquitectura SoC.

Palabra(s) Clave(s): FPGA, Micro red de CD, MyRIO, LabVIEW, Patrón PWM, Puente activo dual.

Abstract

The present article shows the development of the generation of a PWM pattern for the control of an active double bridge convertor, which is a DC-DC bidirectional convertor. This convertor can be used on micro DC nets like an alternative to allow the power flow between a storage system and the DC bus that feeds the loads. The pattern is programmed in LabVIEW which allows programming using graphic language, which make it simpler than a hardware description language. The implementation of the pattern it's done on a MyRIO card that uses a SoC architecture.

Keywords: *FPGA, Micro DC net, MyRIO, LabVIEW, PWM Pattern, Active Dual Bridge.*

1. Introducción

Micro-redes de CD

La integración de la energía renovable en el sistema eléctrico moderno como una manera sustentable de satisfacer la demanda de energía tiene muchos problemas que resolver. Un problema principal es convertir la infraestructura existente a una red inteligente que sea capaz de usar energías renovables como la fotovoltaica, eólica y celdas de combustible de una manera eficiente [1,2].

Las micro redes de corriente directa (CD) han emergido recientemente como una alternativa que puede mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. Especialmente, las micro redes de CD pueden incrementar el nivel de penetración de las fuentes de energía renovable (FER) debido a que la mayoría de ellas, generan energía eléctrica en la forma de CD [3].

En las micro redes de CD es necesario almacenar la energía excedente producida por las FER y ser utilizada cuando estas no estén disponibles, el almacenamiento típico en CD son las baterías.

Los convertidores usados para almacenar energía y también suministrarla a la micro red de CD deben de ser bidireccionales. Es decir el flujo de potencia debe de ir en ambos sentidos, de las FER a la batería y de la batería a las cargas. Uno

de los convertidores que está siendo usado para este propósito actualmente es el convertidor bidireccional con doble puente activo (DAB por sus siglas en inglés).

Funcionamiento del convertidor doble puente activo

El convertidor DAB, el cual se muestra en la figura 1, permite el flujo de potencia en ambos sentidos (siempre que la carga sea activa) en función del desfase aplicado entre dichos puentes. Está basado en la conexión de dos puentes completos activos conectados a través de un transformador de alta frecuencia. Este desfase entre puentes será generado desfasando las señales de control de los interruptores que componen los mismos.

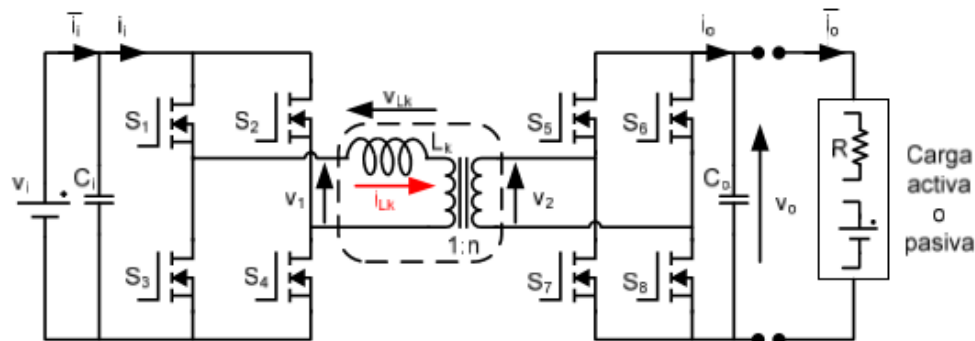


Figura 1 Esquema del circuito DAB.

En su forma de control más sencilla, cada puente se controla con un ciclo de trabajo constante del 50% para generar un voltaje alterno en alta frecuencia en la entrada y salida del transformador. Los voltajes cuadrados obtenidos de los puentes completos y aplicadas al transformador deben ser adecuadamente desfasados, de hecho si la señal de control del puente que está conectado con la salida del convertidor adelanta a la señal de control del puente que está conectado a la entrada de voltaje, la energía fluirá en dirección de la entrada a la salida, pero si por el contrario la señal de control del puente que está conectado al voltaje de salida se atrasa con respecto a la señal de control del otro puente, la energía fluirá de la salida a la entrada.

Una explicación detallada del funcionamiento del circuito se encuentra en [4], y las formas de onda más representativas del convertidor se muestran en la figura 2.

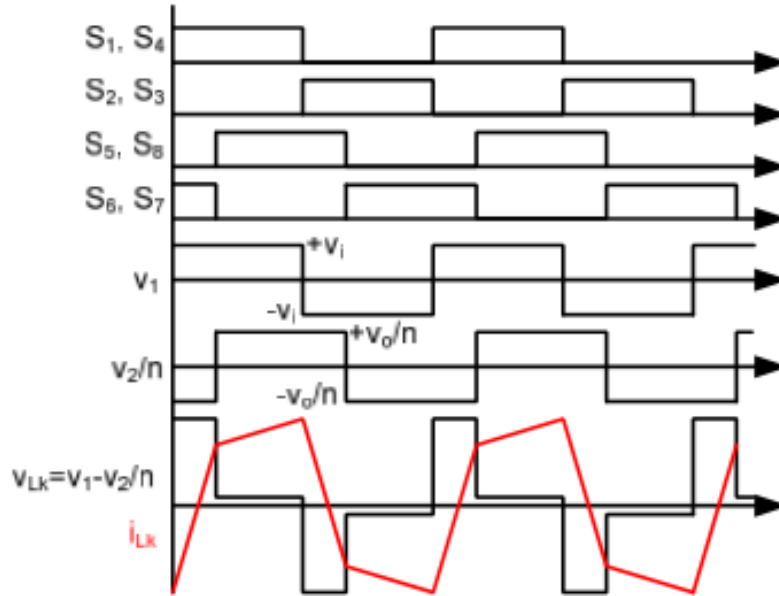


Figura 2 Principales formas de onda del convertidor DAB.

De la figura 2 se puede notar que el voltaje aplicado a ambos lados del transformador es una señal cuadrada, esto debido a la combinación de pulsos aplicados a S_1 hasta S_8 , también se observa el desfase entre V_1 y V_2 lo que produce que la corriente pueda fluir ya sea de V_1 a V_0 o viceversa.

En la figura 3 se muestra la corriente de entrada (i_i) del convertidor cuando el voltaje V_1 adelanta a V_2 con lo que se logra que V_1 entregue potencia.

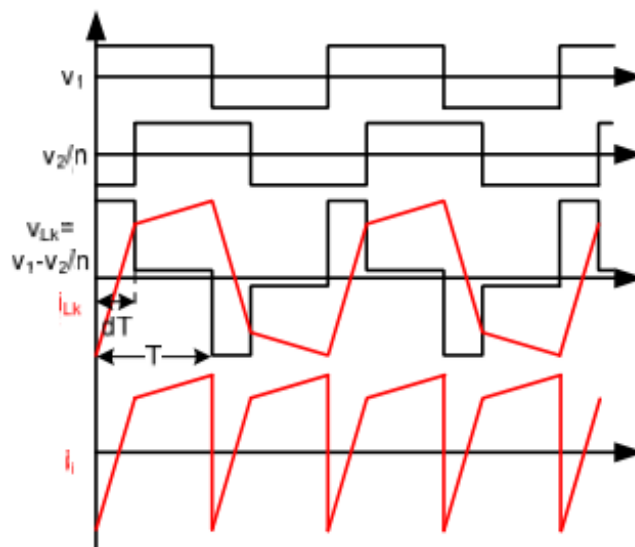


Figura 3 Voltaje V_1 adelantada, potencia entregada por V_1 .

En la figura 4 se muestra la corriente de entrada (I_i) del convertidor cuando el voltaje V_2 adelanta a V_1 con lo que se logra que V_o entregue potencia.

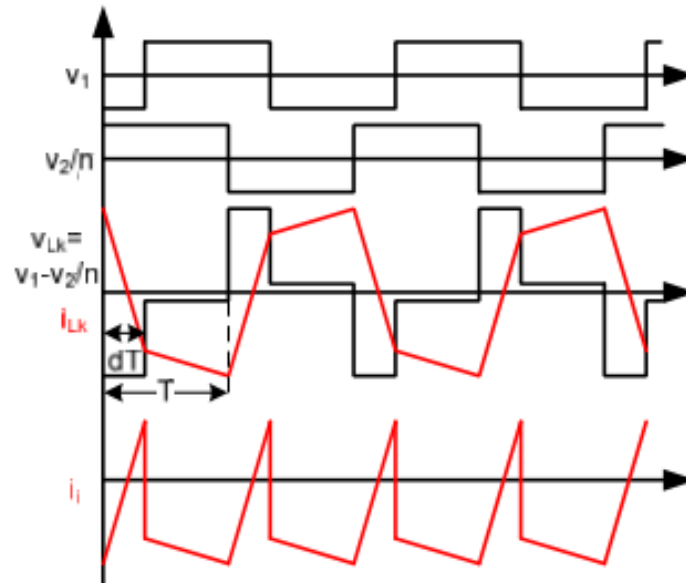


Figura 4 Voltaje V_2 adelantado, potencia entregada por V_o .

Otras técnicas de control más avanzadas, además de poder controlar el desfase entre las señales de control de los puentes, también es necesario poder cambiar el ciclo de trabajo de los puentes, estas técnicas ya nos son sencillas de implementar con dispositivos comerciales, ya que esta es una aplicación muy específica, debido a esto, se realizó un patrón PWM para el control de un DAB, se utilizó un sistema embebido conocido como MyRIO el cual está basado en el Sistema en Chip (SoC, por sus siglas en inglés) Zynq de la compañía Xilinx, este dispositivo cuenta con una FPGA y también con un procesador en tiempo real, la figura 5 muestra un diagrama a bloques del dispositivo. Las características de dicha tarjeta en los conectores A y B se muestran en la tabla 1, los del conector C se muestran en la tabla 2 [5].

Aprovechando las capacidades inherentes de la FPGA en la tarjeta MyRIO se pueden lograr señales de control en alta frecuencia y también con una buena resolución. Y aprovechando las capacidades de tiempo real del procesador se podría realizar alguna de las técnicas de control para el DAB.

Tabla 1 Descripción de las señales de los conectores A y B.

Nombre de la señal	Referencia de voltaje	Dirección	Descripción
AI <0..3>	AGND	Entrada	0-5 V, referenciados, canales de entrada analógicos con terminación sencilla.
AO <0..1>	AGND	Salida	0-5 V, referenciados, canales de salida analógica con terminación sencilla.
DIO <0..15>	DGND	Entrada/Salida	Líneas digitales de propósito general de 3.3 V

Tabla 2 Descripción de las señales de los conectores C.

Nombre de la señal	Referencia de voltaje	Dirección	Descripción
AI0+/AI0- AI1+/AI1-	AGND	Entrada	±10 V, entrada analógica de terminación diferencial
AO <0..1>	AGND	Salida	±10 V, referenciados, canales de salida analógica con terminación sencilla.
DIO <0..7>	DGND	Entrada/Salida	Líneas digitales de propósito general de 3.3 V

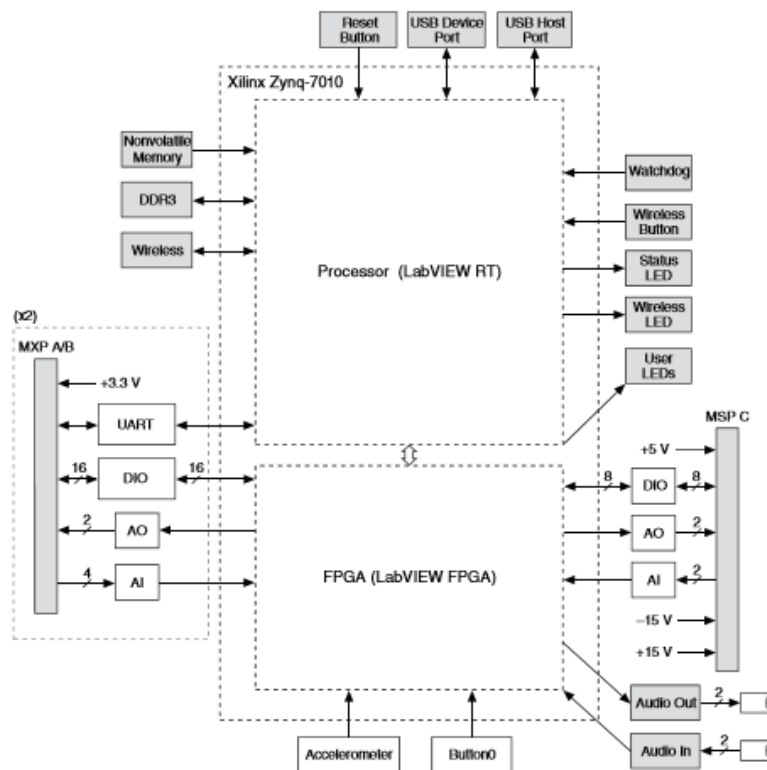


Figura 5 Diagrama a bloques de la tarjeta NI MyRIO.

Debido a lo expuesto en los párrafos pasados se comenzó generando los pulsos de control para un solo puente completo, se toma como referencia el puente completo en la izquierda de la figura 1. Para generar una onda cuadrada a la salida del puente completo se ocupa desfasar la señal de control S1 y S3 (S2 y S4 son el complemento respectivamente), en la figura 6 se muestran las señales de control desfasadas 90° y logrando un ciclo de trabajo (d) del 50% en el voltaje de salida del puente.

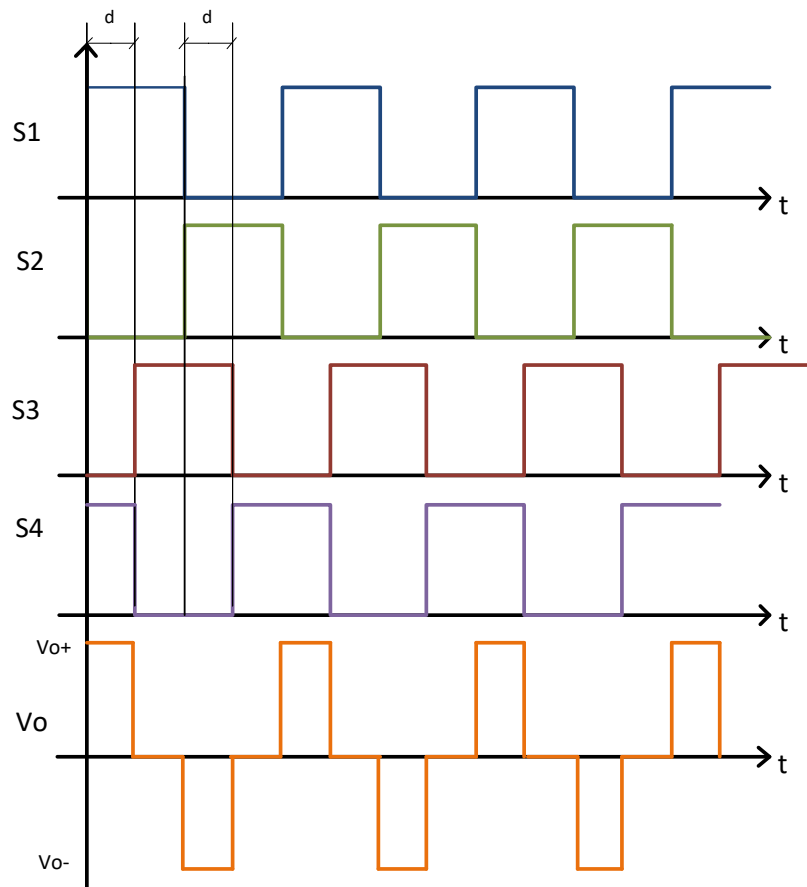


Figura 6 Pulsos de control de un puente completo, generando un ciclo de trabajo del 50%.

Esto se realizó utilizando el software LabVIEW FPGA de la compañía National Instruments, éste tiene ciertas ventajas sobre los lenguajes de descripción de hardware, el más importante es que es un lenguaje gráfico, lo cual simplifica de manera considerable el tiempo de desarrollo y reduce la complejidad en el desarrollo de aplicaciones.

2. Métodos

Para lograr los pulsos de control de la figura 6 se realizó un programa en LabVIEW siguiendo el diagrama de flujo de la figura 7, en la figura 8 se muestra el programa ya implementado en LabVIEW.

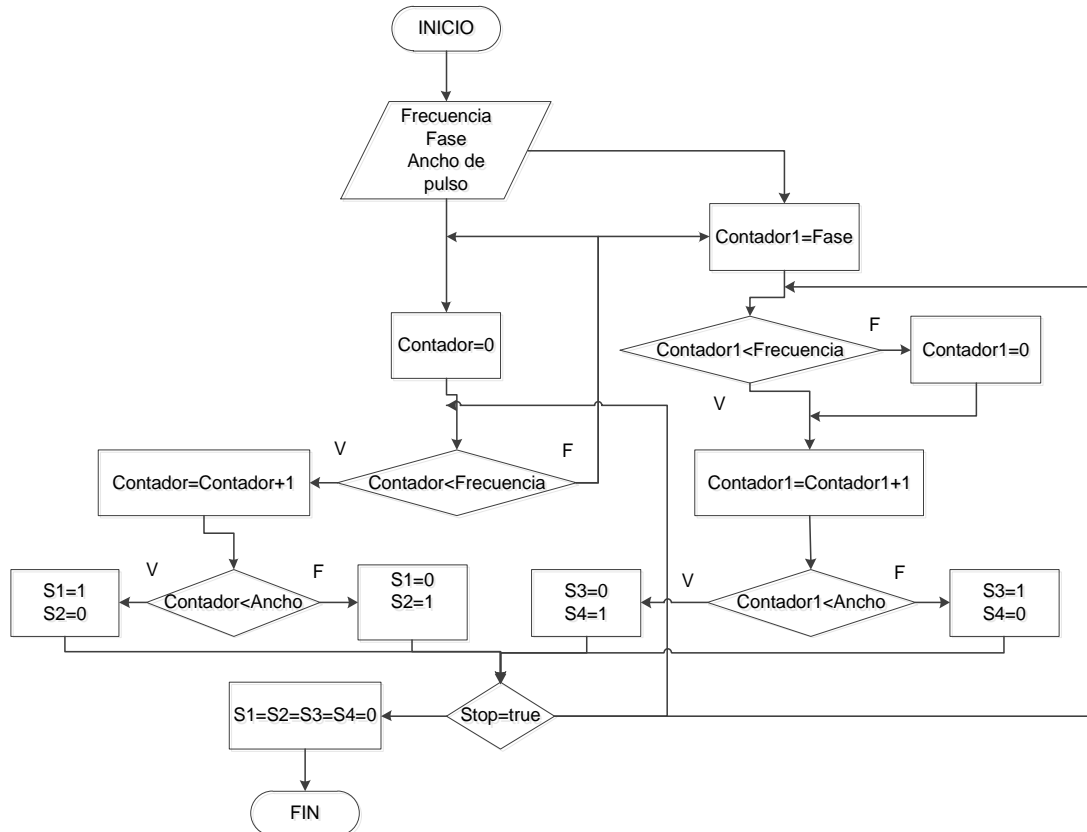


Figura 7 Diagrama de flujo para generar pulsos de control de un puente completo.

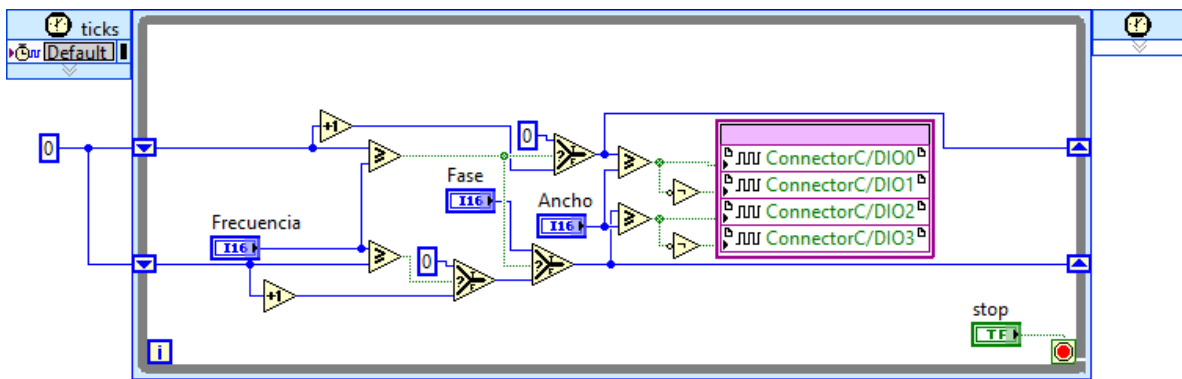


Figura 8 Programa en LabVIEW para generar pulsos de control de un puente completo.

De la figura 8 el control llamado *fase* permite precargar con un valor a contador1 lo que permite el desfasamiento entre las señales de control, el programa de la figura 8 se repite otra vez para poder controlar el segundo puente completo.

En la figura 9 se muestra un diagrama de flujo para la generación de los pulsos de control del convertidor DAB, para este fin se considera que el código de generación de pulsos de control para un puente completo es una subrutina, como se mencionó antes, el programa realizado permite mover todos los parámetros de las señales, es decir permite el desfasamiento entre las señales del puente, también se puede mover la fase de cada uno de los puentes lo que modifica el ciclo de trabajo y por ultimo permite mover el ancho de pulso de cada señal que controla a los puentes completos (todas las señales con el mismo ancho de pulso).

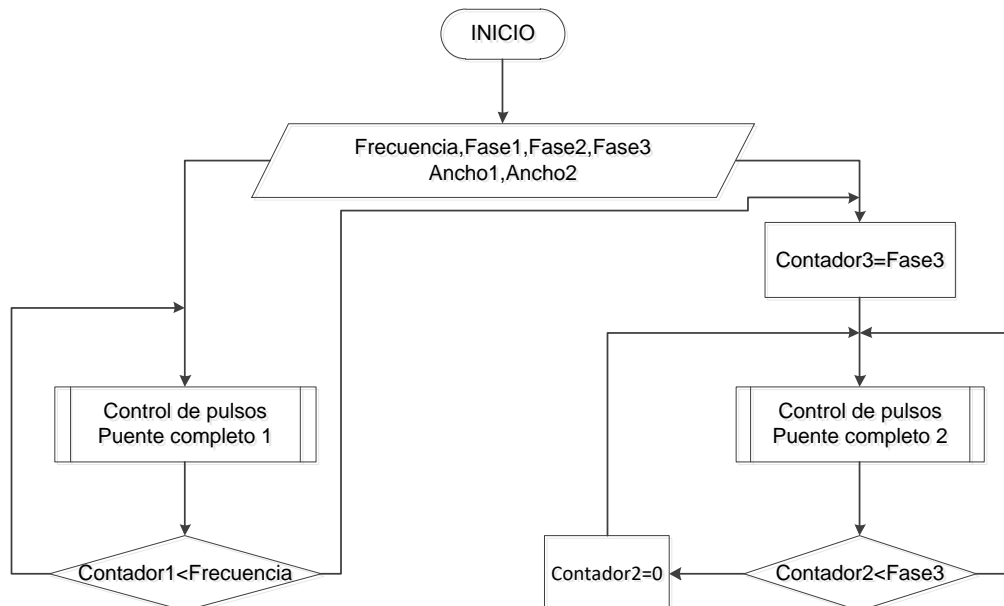


Figura 9 Diagrama de flujo de la generación de las señales de control para un DAB.

En la figura 10 se muestra el programa completo en LabVIEW del convertidor DAB, en este programa el control más importante es el llamado Fase 3 ya que este es el que permite generar el desfasamiento entre las señales de control de ambos puentes. Se puede hacer notar que aunque el código se ve complicado de entender, la programación gráfica de LabVIEW ayuda a facilitar el desarrollo de patrones PWM para diversos convertidores.

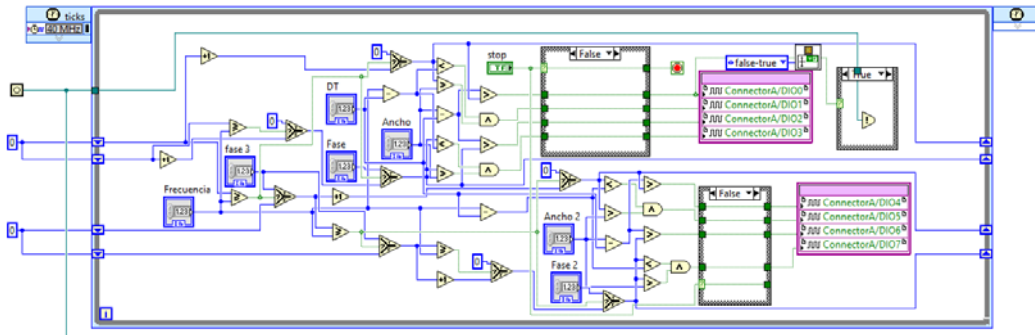


Figura 10 Programa de control completo del convertidor DAB.

3. Resultados

Los resultados obtenidos a continuación fueron tomados con un osciloscopio de señal mixta de la marca National Instruments modelo NI VB-8034.

La figura 11 muestra los pulsos generados para un puente, la frecuencia de los pulsos generados es de 40kHz, se muestra el desfase de 45° entre los pulsos S₁ y S₄, (S₂ y S₃ son el complemento de las señales respectivamente), este desfase se logra solo moviendo el control Fase del programa mostrado en la figura 10.

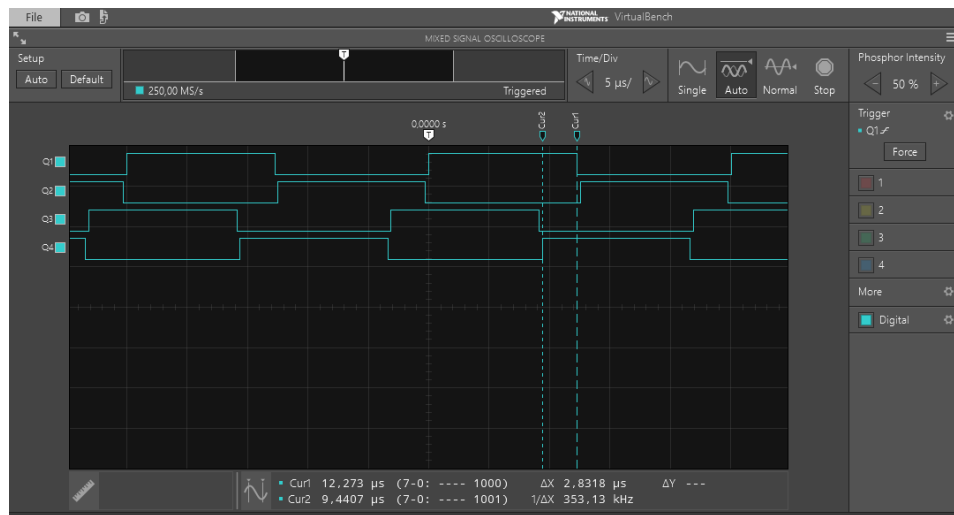


Figura 11 Señales de control presentando un desfase de 45°.

Las figuras 12 y 13 se muestran el desfase entre las señales de control para 90°, 135° y 180° respectivamente.

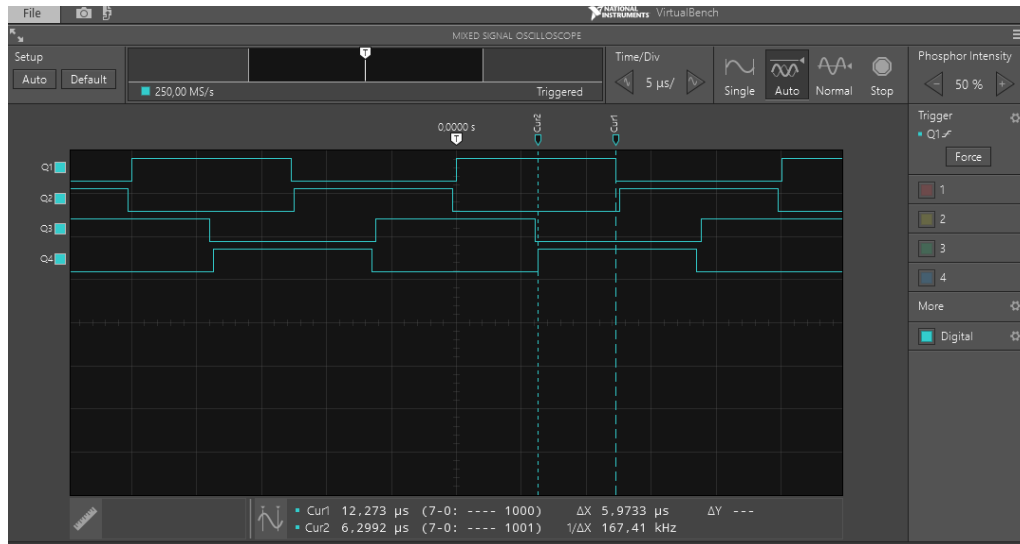


Figura 12 Señales de control presentando un desfase de 90° .

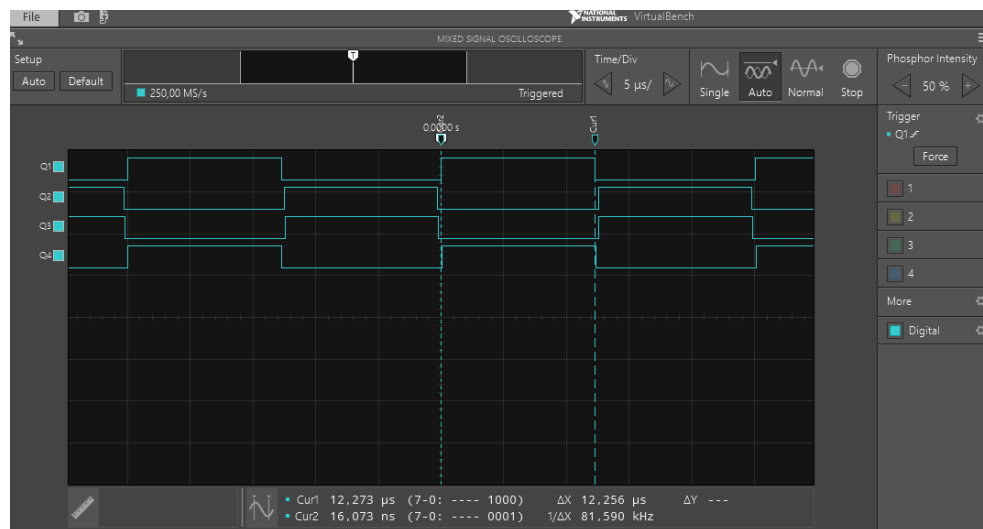


Figura 13 Señales de control presentando un desfase de 180° .

Muy importante en la generación de pulsos para control de un convertidor puente completo es la inserción de tiempos muertos entre las señales que controlan a una misma rama de interruptores ya que de no tenerlos se podría causar un cortocircuito entre los interruptores, dicho tiempo muerto se inserta entre las señales S_1 y S_2 y también entre S_3 y S_4 , las figuras 14 y 15 muestran este tiempo muerto y se puede modificar con el control DT del programa mostrado en la figura 10.

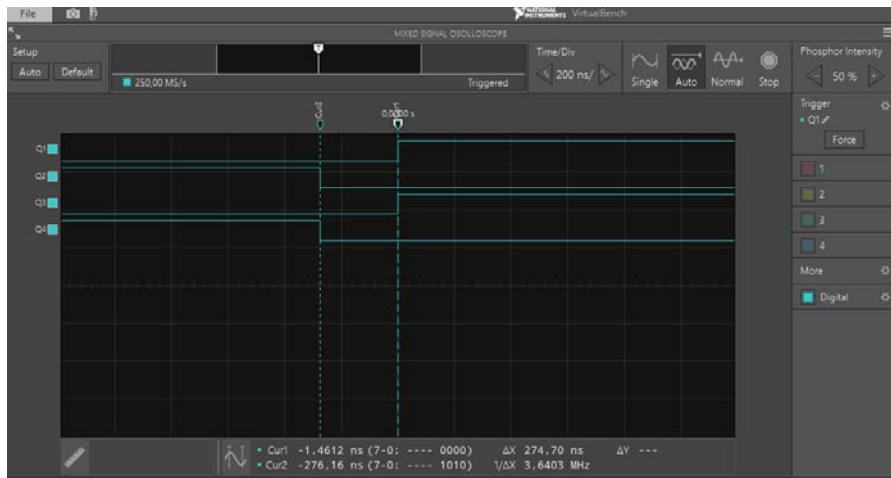


Figura 14 Tiempo muerto entre las señales de control. Trigger en el flanco positivo de S_1 .

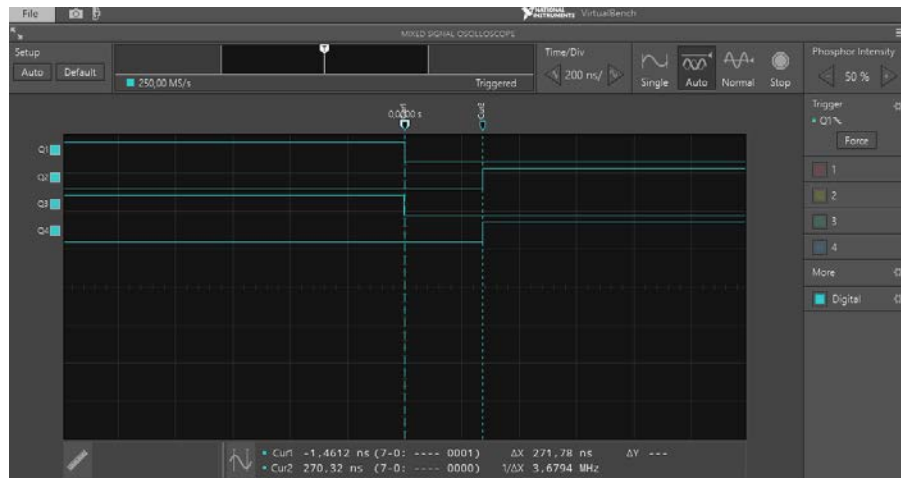


Figura 15 Tiempo muerto entre las señales de control. Trigger en el flanco negativo de S_1 .

Una vez que se verificó el comportamiento de los pulsos de control para un solo puente completo, se utilizó el mismo programa para realizar el control del segundo puente completo.

Para lograr el control de todo el convertidor DAB se debe de poder mover la fase entre las señales de control para los puentes. Esto se observa en las figuras 16 y 17, en las que se observa un desfase de 45° y 90° respectivamente, entre las señales S_1 y S_5 , (de S_1 a S_4 controlan uno de los puentes y de S_5 a S_8 controlan al otro). Este desfase se logra moviendo el control Fase 3 del programa principal de la figura 10.

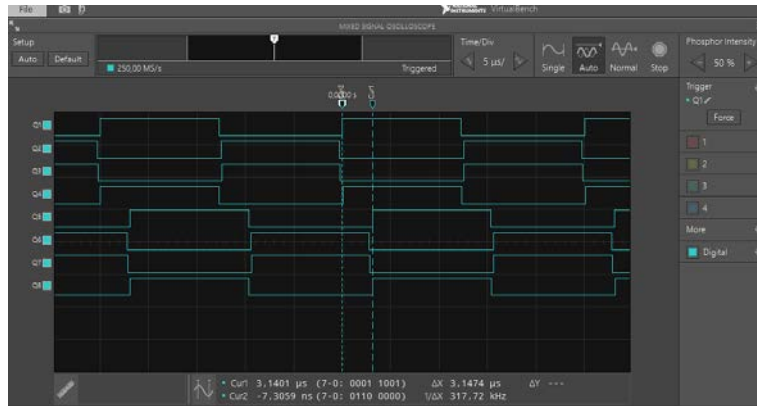


Figura 16 Desfasamiento de 45° entre las señales de control de los puentes completos.

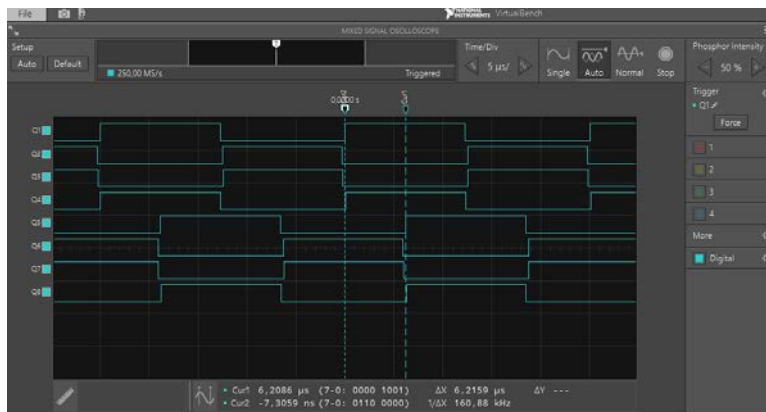


Figura 17 Desfasamiento de 90° entre las señales de control de los puentes completos.

En las figuras 18 y 19 se observa un desfase de -45° y -90° respectivamente, entre las señales S_1 y S_5 .

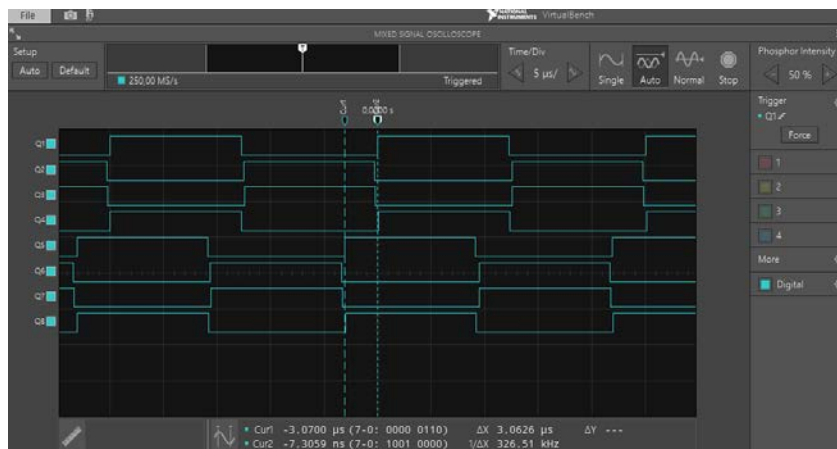


Figura 18 Desfasamiento de -45° entre las señales de control de los puentes completos.

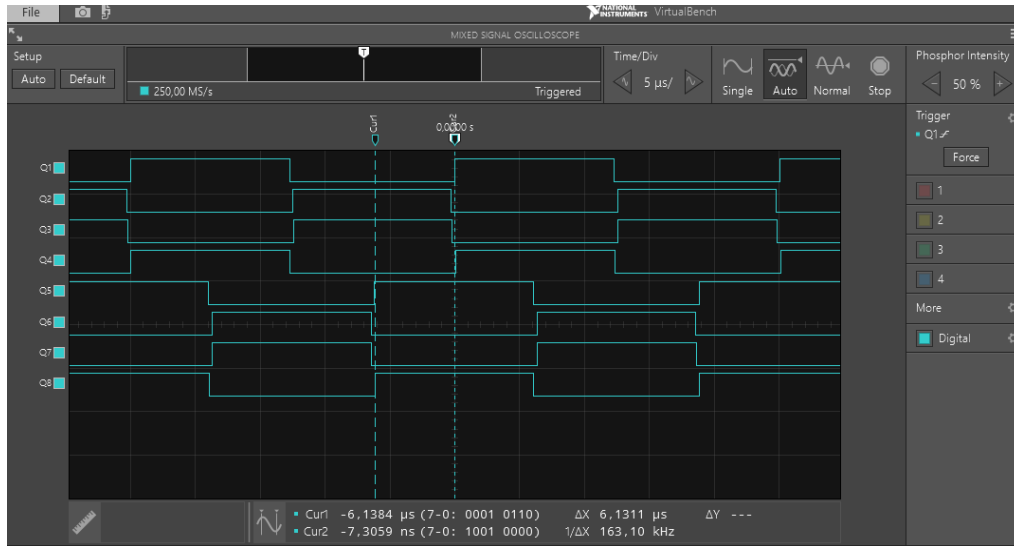


Figura 19 Desfasamiento de -90° entre las señales de control de los puentes completos.

Los oscilogramas obtenidos demuestran que con el programa realizado en LabVIEW FPGA e implementado en la tarjeta MyRIO es posible generar las señales de control para un convertidor DAB.

4. Discusión

En el presente artículo se realiza una breve descripción de las micro redes de CD como una estrategia para aumentar el uso de fuentes de energía renovables y la necesidad de utilizar convertidores CD-CD bidireccionales, para poder controlar el flujo de energía desde y hacia el sistema de almacenamiento.

Uno de los convertidores estudiados en la literatura es el convertidor DAB ya que este permite el flujo de potencia en ambos sentidos y presenta aislamiento galvánico lo que es una gran ventaja respecto a otros convertidores.

La implementación del patrón PWM para este convertidor ya no es un tema trivial ya que se necesita poder modificar muchos parámetros que afectan el funcionamiento del convertidor DAB, se realizó un programa en la plataforma LabVIEW FPGA el cual se implementó en una tarjeta MyRIO logrando aprovechar la FPGA que esta tiene.

Los resultados muestran que el programa y la implementación realizada pueden controlar, por el momento, al convertidor DAB en lazo abierto.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] M. Liserre, T. Sauter, and J. Y. Hung, Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 4, no. 1, pp. 18-37, 2010.
- [2] H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise, J. Van Roy, and J. Diresen, Basic Sensitivity Analysis of Conversion Losses in a DC Microgrid, in *2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, pp. 1-6.
- [3] D. J. Hammerstrom, AC Versus DC Distribution Systems Did We Get it Right?, in *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1-5.
- [4] Alberto Rodriguez Alonso, *Análisis de arquitecturas multipuerto para la alimentación de sistemas electrónicos con multiples flujos de energía.*: Universidad de Oviedo, 2013.
- [5] National Instrument, User guide and specifications NI MyRIO-1900.