

Técnica TPWM aplicada a un inversor monofásico

TPWM technique applied to a single-phase inverter

Luis Antonio Gaytán García¹, Misael López Ramírez¹, José Manuel Flores Perez¹, Homero Miranda Vidales¹

¹Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
la.gaytangarcia@ugto.mx

Resumen

Los inversores de voltaje (VSI) son sistemas de conversión de energía, los cuales tienen como objetivo entregar a su salida corriente alterna a partir de una entrada de corriente continua. Esta salida se obtiene por medio de alguna técnica basada en la modulación de ancho de pulso (PWM) y de las usadas actualmente aquí se muestra una variación de la técnica trapezoidal (TPWM) en la cual las señales portadora y moduladora se hacen utilizando una matriz de compuertas lógicas programable (FPGA) en la cual se diseña el sistema necesario para tener la etapa de control del sistema inversor.

Palabras clave: VSI, FPGA, TPWM

Introducción

El incremento en el uso de las energías renovables, como la solar, es algo que ha ido sucediendo en los últimos años. En el caso de la anteriormente mencionada, la energía eléctrica es proporcionada en forma de corriente continua, esta a su vez necesita ser convertida en corriente alterna para poder trabajar con la mayoría de electrodomésticos o con motores de inducción en el ámbito industrial (Arshadi S. A., 2016). Por ello la investigación y el desarrollo en el tema de inversores es algo importante.

La corriente alterna tiene un papel fundamental en nuestra sociedad. Es difícil imaginar una vida cotidiana sin el uso de aparatos eléctricos. Aunque la red comercial nos proporciona este tipo de corriente, es notorio el avance en las tecnologías para suministrar energía renovable, como la solar, las cuales nos entregan corriente directa (Haq M.I. et al., 2022). Debido a que la mayoría de dispositivos eléctricos tienen como entrada corriente alterna, es necesario poder transformar el tipo de energía de manera eficiente y así poder reducir pérdidas de esta (Blinov A. et al., 2022)

Para una salida monofásica se emplea una configuración de transistores en "puente H", como se muestra en la Figura 1. La cual consta de cuatro transistores los cuales forman dos ramas en paralelo, cada rama consta de un par en serie. Cada rama está conectada a un polo de la fuente de corriente continua y de cada nodo intermedio de las ramas sales las terminales a donde irá conectada nuestra carga que es donde se verá reflejada una corriente alterna.

Si desactivamos la rama Q1 y activamos la rama Q2, tendremos circulación de corriente del punto B al punto A, si ahora activamos la rama Q1 y desactivamos la rama Q2, ahora tendremos una circulación de corriente del punto A al punto B. Si mantenemos este ciclo en nuestra carga habrá una circulación de corriente alterna, pero la señal que veremos será de forma cuadrada, tanto en su ciclo positivo como negativo, para mejorar la eficiencia de conversión de nuestro sistema se debe aplicar una modulación de ancho de pulso en cada ciclo.

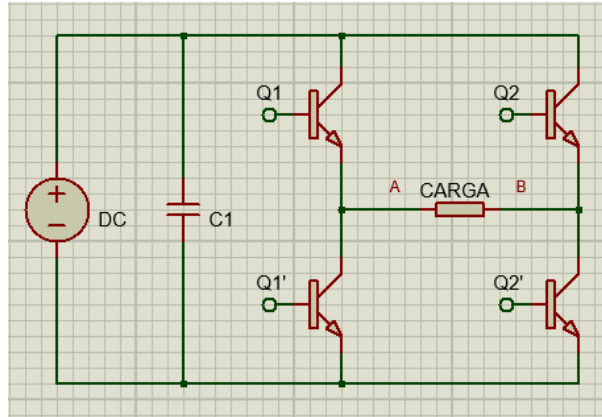


Figura 1. Configuración puente H. Fuente: Autoría propia.

PWM

Siguiendo la técnica anteriormente descrita obtendremos una conmutación con una forma de onda cuadrada tanto en el ciclo positivo como en el negativo, en algunas ocasiones no es el tipo de señal más conveniente para que nuestra carga trabaje, por lo que se debe obtener otra forma de onda, para ello se usa la modulación de ancho de pulso (PWM), como su nombre lo indica dado un periodo T el ancho de la señal en alto irá cambiando y la energía entregada en ese periodo T será el promedio de dicha señal.

Metodología Propuesta

Partiendo de que se cuenta con la etapa de potencia del sistema inversor, en la cual los transistores se comportan como interruptores ideales, este trabajo comienza con el desarrollo de la etapa de control, la cual debe generar los patrones de conmutación para obtener una salida donde la carga perciba una forma trapezoidal.

Primero se deben crear dos entidades, una encargada de generar la señal portadora y la otra la señal moduladora las cuales entraran en un comparador donde a su salida obtendremos una señal modulada en ancho, La frecuencia de la señal portadora es la misma a la que se quiera tener la frecuencia del PWM, esta a su vez debe ser número par de la frecuencia de la señal moduladora esto para evitar armónicos indeseados en la carga.

Patrón de conmutación

En la Tabla 1 se muestran los estados lógicos posibles que pueden tomar los transistores de la Figura 1, podemos observar que solo en los casos 2 y 3 abra circulación de corriente en nuestra carga por lo que debemos mantener alternando los estados sobre $Q1$ y $Q2$, a su vez $Q1'$ y $Q2'$ tendrán valores que evitaren que alguna de las ramas provoque un corto circuito. Los transistores se pueden ubicar en la Figura 1.

Tabla 1. Tabla de verdad del patrón de conmutación.

	Q1	Q2	Q1'	Q2'
Caso 1	0	0	1	1
Caso 2	0	1	1	0
Caso 3	1	0	0	1
Caso 4	1	1	0	0

Fuente: Autoría propia.

Para generar el patrón de conmutación se usó una máquina de estados la cual creara dos señales cuadradas de la misma frecuencia pero desfasadas 180 grados. Estos pulsos están en operación AND con la señal TPWM para crear el patrón en cada rama, a su vez se utilizan dos señales negadas para cada complemento de la rama.

Resultados

Primero se simularon las señales analógicas para poder comparar el resultado con nuestras señales digitales, para ello se usó el software LTSpice, donde se crearon las señales portadora y moduladora, comparándolas entre ellas para poder obtener la señal TPWM esperada. En la Figura 2 se observa el resultado.

Para comprobar el diseño descrito en VHDL se colocó la señal de reloj a la frecuencia de 50Mhz que es la frecuencia más comúnmente usada por las tarjetas de desarrollo en el mercado y la señal de reloj se mantuvo activa. Como se puede observar en la Figura 3 obtenemos una forma de onda de forma trapezoidal en la moduladora y una forma triangular en la portadora.

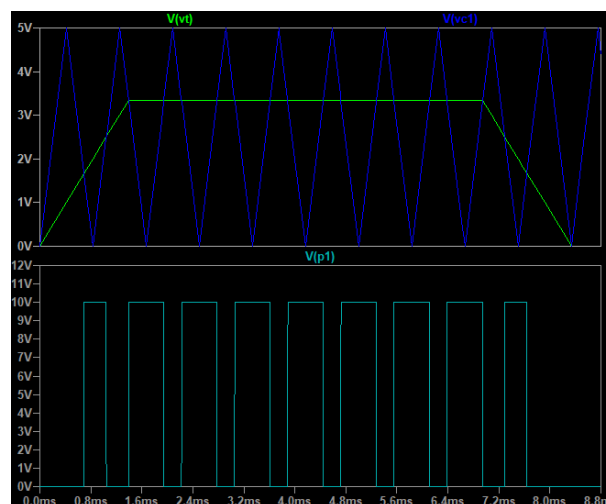


Figura 2. Simulación de señales analógicas. Fuente: Autoría propia.

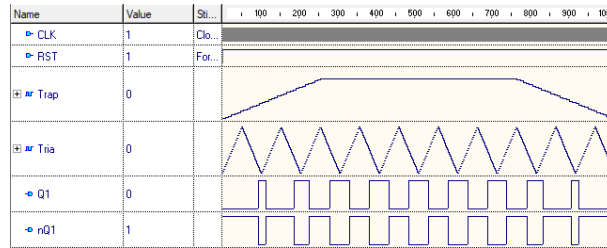


Figura 3. Señales creadas con la estructura digital. Fuente: Autoría propia.

Conclusiones

Comparando las señales analógicas simuladas de la Figura 2 contra las señales digitales generadas en hardware de la Figura 3 podemos observar que los resultados son similares, en parte gracias a que las señales digitales son generadas de manera paralela, con la ventaja que si se requiere un cambio tanto en la señal moduladora como en la portadora estos se pueden realizar sin necesidad de realizar cambios en el sistema físico ya que el hardware se modifica se encuentra dentro del FPGA.

Referencias

Arshadi S. A., Poorali B., Adib E. y Farzanehfard H., «High Step-Up DC-AC Inverter Suitable for AC Module Applications,» IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 63, n° 2, pp. 832 - 839, 2016.

Blinov A., Korkh O., Chub A., Vinnikov D., Peftisis D., Norrga S. y Galkin I., «High Gain DC-AC High-Frequency Link Inverter With Improved Quasi-Resonant Modulation,» IEEE Transactions on industrial electronics, vol. 69, n° 2, pp. 1465 - 1476, 2022.

Haq M. I., Humayra J. T., Rahman M., Tanzil S. y Hanan A. H., «Control and Simulation of a Three-Phase Inverter,» de IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, 2021.

