

Modulación por ancho de pulso Gaussiano en variadores de velocidad

Gaussian pulse width modulation in variable speed drives

José M. Flores-Pérez¹, Luis M. Ledesma-Carrillo¹, Misael López-Ramírez¹

¹Departamento de Estudios Multidisciplinario, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato
jm.floresperez@ugto.mx

Resumen

La mayoría de los inversores trifásicos en los variadores de velocidad generan armónicos indeseables debido al proceso de conmutación de los interruptores semiconductores y siendo la modulación por ancho de pulso (PWM) una de las más usada en el sector industrial, se propone un método de modulación de ancho de pulso gaussiano. El método es simple y fácil de implementar digitalmente en el entorno de MATLAB. Al comparar los resultados basados en simulación de cinco técnicas se justifica que la modulación por ancho de pulso Gaussiano ofrece una distorsión armónica total baja y buena calidad en la señal de salida.

Palabras clave: Inversores; PWM; Gaussiana; modulación; armónicos; variador-velocidad.

Introducción

En la literatura la modulación PWM se ha examinado a detalle al ser una técnica para producir pulsos de amplitud variable, utilizadas en dispositivos de conmutación como BJT, MOSFET o IGBT, por medio de pulsos de disparo generados por circuitos de control para aplicaciones de potencia. La técnica de modulación PWM en sus diferentes variables se ha utilizado en el desarrollo de dispositivos electrónicos de potencia, *Alejandro (2006)* y *Torres (2008)*, presentan el desarrollo de un inversor trifásico empleado en el control de velocidad de un motor de inducción trifásico. Las topologías para inversores multinivel es otro enfoque del uso de la metodología de modulación (*Avinash, 2016*). Para resolver problemas de desequilibrio *Lyu (2015)*, Propone un método para equilibrar inversores de tres niveles con control de modulación de ancho de pulso sinusoidal, estudiando las fluctuaciones del voltaje, calculando del desplazamiento dinámico superpuesto a la onda de modulación. Sumando a la amplia área de aplicación de la modulación PWM, la generación de energías fotovoltaicas requiere de inversores para transformar la corriente eléctrica a continua (*Islam2020*), sin embargo, la mayoría de los inversores trifásicos generan armónicos que causan distorsión de la forma de onda.

Debido a los efectos de la conmutación es indispensable obtener señales con muy baja distorsión armónica (*Lai,2006*), con el objetivo de conseguir una tensión de línea de salida del inversor que evite componentes armónicos se propone la modulación Gaussiana para el control del inversor de un variador de velocidad trifásico. La modulación Gaussiana controla la apertura y cierre de un interruptor de potencia siguiendo una secuencia de disparo mediante la intersección de una señal portadora gaussiana con una señal de referencia o moduladora sinusoidal. Los flancos de subida y bajada de los pulsos de ancho variable son determinados por los puntos de intersección de las señales generando una señal pulsante que contiene implícitamente toda la amplitud y la frecuencia de la onda moduladora. Los beneficios son, reducir el costo de operación por el incremento de la rentabilidad del sistema, por la reducción de tiempos muertos, procesos de fabricación mejorados y aumento de la calidad del producto.



Metodología Propuesta

La metodología propuesta pretende estudiar el comportamiento de la señal de salida del inversor de un variador de velocidad al utilizar diferentes métodos de activación, se ha desarrollado un banco de prueba (Figura 1) con la topología típica de un inversor trifásico de dos niveles, como se muestra en la figura 2, formado por un conjunto de seis transistores de potencia IGBT's, alimentado por un bus de capacitores que es cargado a partir de un rectificador trifásico. Para la activación de los IGBT's se utiliza un módulo de control que permite la codificación de diferentes tipos de modulación. Estas señales digitales de disparo son generadas a través de una tarjeta National Instrument y el software Labview.



Figura 1. Prototipo Inversor trifásico.

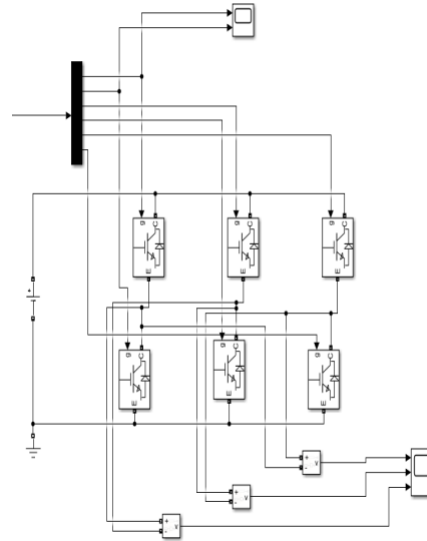


Figura 2. Topología de Inversor trifásico

Sin embargo, la topología del inversor puede presentar inconvenientes en las señales de salida durante la operación, pudiendo obtener tensiones de salidas desequilibradas. Por tal motivo, es indispensable realizar la simulación de diferentes métodos de modulación PWM previo a su implementación directa en el sistema, evitando así someter a los interruptores a altas tensiones y deteriorar su funcionamiento. La simulación también permite proponer una técnica adicional de modulación innovadora, la modulación por ancho de pulso Gaussiano. La simulación implementada en MATLAB utiliza los parámetros descritos en la Tabla 1, simulando en un corto tiempo, incluido su análisis en el dominio de frecuencia.

Tabla 1. Parámetros de Simulación

Frecuencia de muestreo (Fs)	4096 Hz
Número de muestras (N)	131072
Frecuencia fundamental (Fo)	64 Hz
Frecuencia de portadora (Ft)	256 Hz
Amplitud señal de referencia (Ar)	0.9
Amplitud señal portadora (At)	1 Hz



Resultados

Con el fin de verificar la propuesta de la modulación por ancho de pulso gaussiano, se han simulado 5 técnicas de modulación diferentes, la señal obtenida a la salida del inversor no corresponde explícitamente a una señal sinusoidal, debido a que viene con una serie de armónicos asociados centrados alrededor de la frecuencia de la portadora. La ubicación de las bandas de armónicos depende del tipo de modulación usada, Los resultados se obtienen del entorno MATLAB, simulando la señal de salida del inversor.

Los resultados de la simulación de la modulación PWM básica se muestra en la Figura 3 la tensión de salida del inversor se caracteriza por su periodo de conmutación constante y su capacidad para ser variar el tiempo de encendido modificando el ancho de pulso y el contenido de armónicos en la Figura 4.

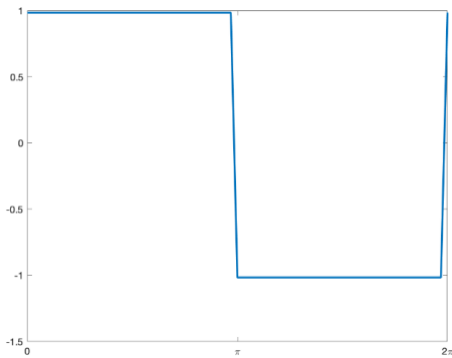


Figura 3. Señal PWM

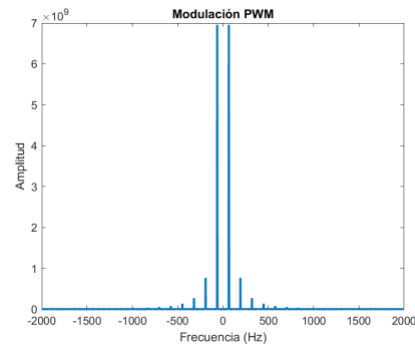


Figura 4. Armónicos de Señal la PWM en el dominio de frecuencia

La respuesta obtenida de distinción armónica THD de -7.67 dB (Figura 5)

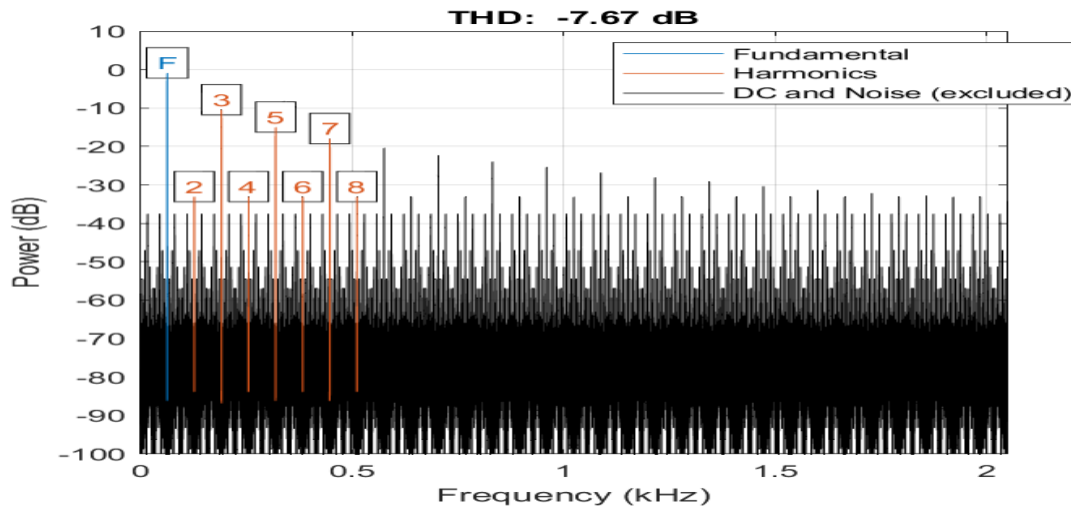


Figura 5. Distorsión Armónica total (THD) de Señal PWM



Tabla 2. Frecuencia de 8 armónicos de señal modulada por ancho de pulsos

Frecuencia en dB	Frecuencia en Hz
-0.9165	64.0000
-33.0996	128.0000
-10.4938	192.0000
-33.0996	256.0000
-15.0008	320.0000
-33.0996	384.0000
-18.0289	448.0000
-33.0996	512.0000

Modulación por ancho de pulso único

Se compara una señal de referencia cuadrada contra una señal portadora triangular

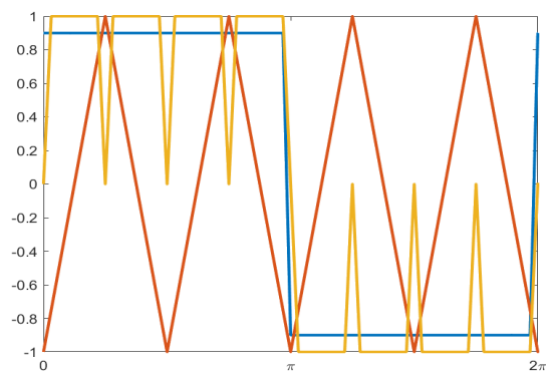


Figura 6. Señal por ancho de pulso único

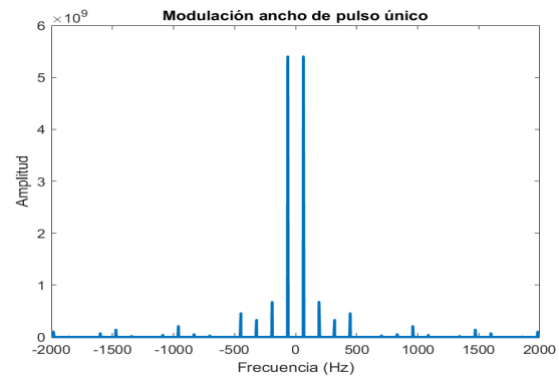


Figura 7. Armónicos de Señal pulso único en el dominio de frecuencia

La respuesta obtenida de distinción armónica THD de -5.70 dB (Figura 8) .



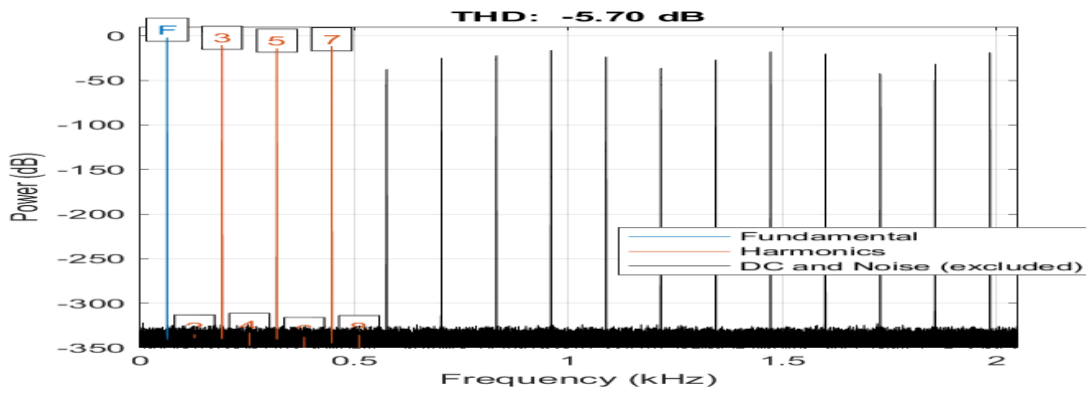


Figura 8. Distorsión Armónica total (THD) de Señal cuadrada-triangular

Tabla 3. Frecuencia de 8 armónicos

Frecuencia en dB	Frecuencia en Hz
-2.0156	64.0000
-334.8942	127.9688
-11.0684	192.0000
-333.0379	256.0313
-14.2109	320.0000
-337.6438	384.0000
-12.7576	448.0000
-335.5053	512.0000

Modulación por ancho de pulso sinusoidal

Consiste en una señal sinusoidal comparada con una portadora cuya forma es triangular. El patón de pulsos es mostrado en la Figura 9.



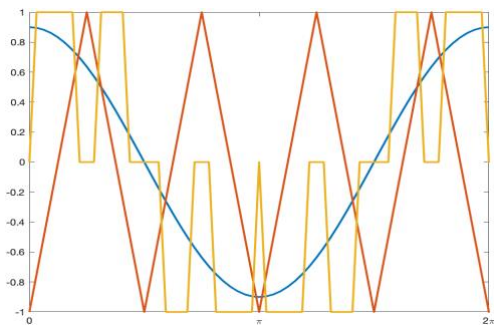


Figura 9. Señal por ancho de pulso sinusoidal

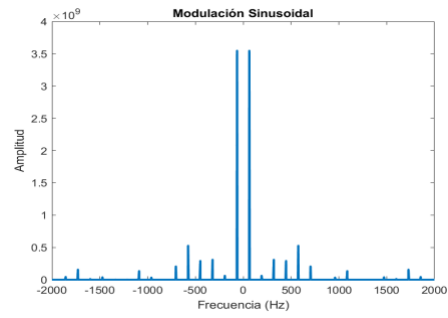


Figura 10. Armónicos de Señal de pulso sinusoidal en el dominio de frecuencia

La respuesta obtenida de distinción armónica THD de -7.28 dB (Figura 11)

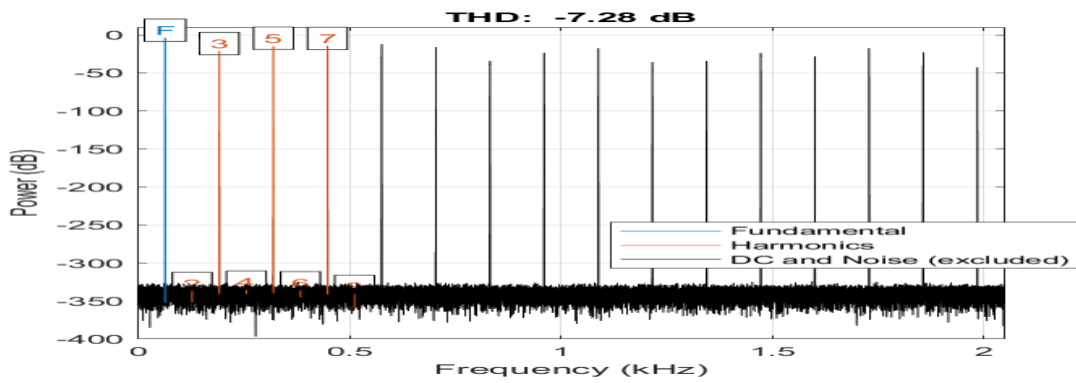


Figura 11. Distorsión Armónica total (THD) de Señal sinusoidal-triángula

Tabla 4. Frecuencia de 8 armónicos

Frecuencia en dB	Frecuencia en Hz
-3.8413	64.0000
-336.9352	128.0312
-21.3865	192.0000
-335.1372	255.9688
-14.4331	320.0000
-336.0142	384.0000
-14.7002	448.0000
-340.7117	512.0312



Modulación trapezoidal

Se genera comparando una onda portadora triangular con una onda modulada trapezoidal

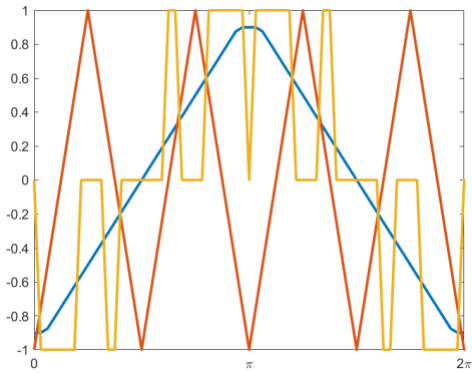


Figura 12. Señal trapezoidal

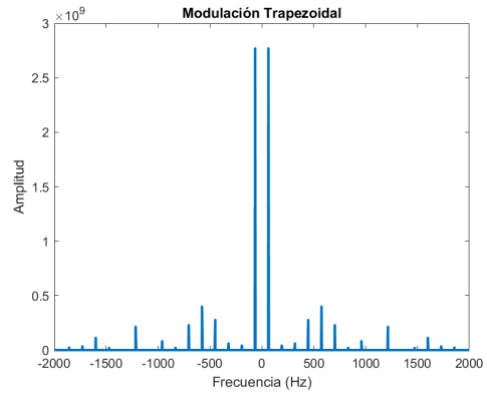


Figura 13. Armónicos de Señal trapezoidal en el dominio de frecuencia

La respuesta obtenida de distinción armónica THD de -8.62 dB (Figura 14).

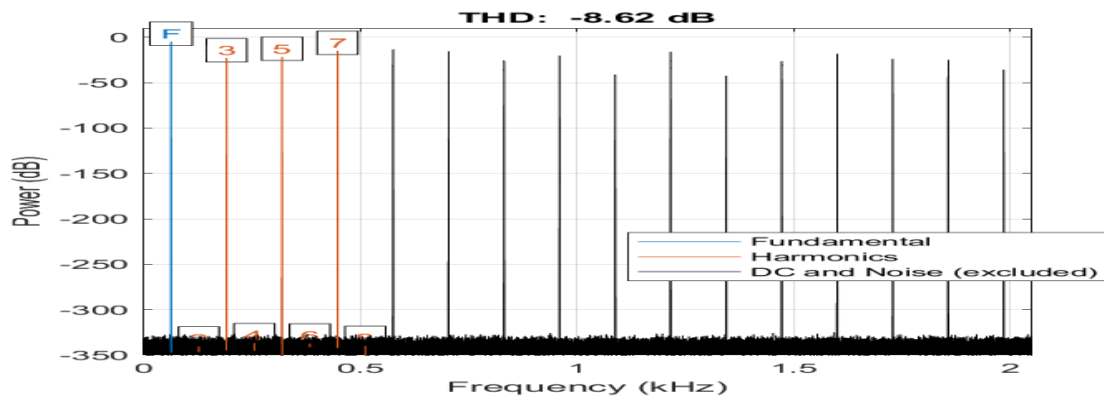


Figura 14. Distorsión Armónica total (THD) de Señal trapezoidal-triángula



Tabla 5. Frecuencia de 8 armónicos

Frecuencia en dB	Frecuencia en Hz
-4.9156	64.0000
-340.5003	128.0000
-23.1267	192.0000
-336.7692	255.9688
-21.4511	320.0000
-337.3153	383.9688
-14.9133	448.0000
-339.9077	512.0312

Modulación Gaussiana

Se genera comparando una onda portadora triangular con una onda modulada Gaussiana.

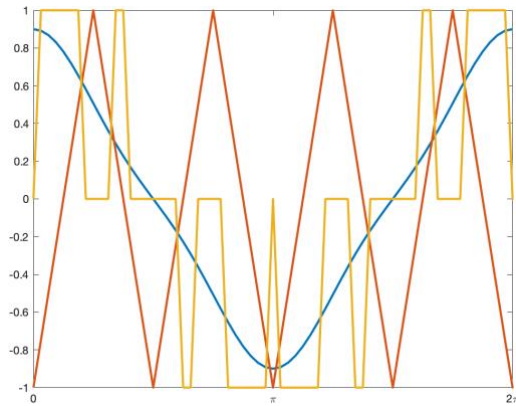


Figura 15. Señal Gaussiana

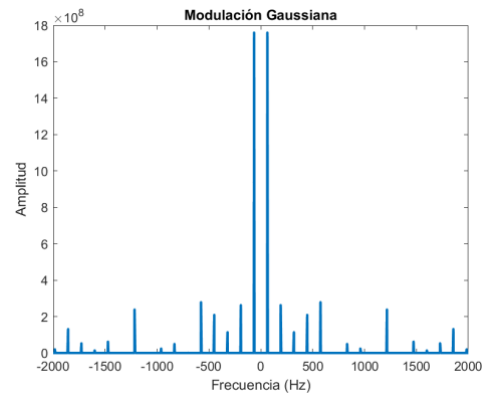


Figura 16. Armónicos de Señal la PWM en el dominio de frecuencia

La respuesta obtenida de distinción armónica THD de -8.62 dB (Figura 17).



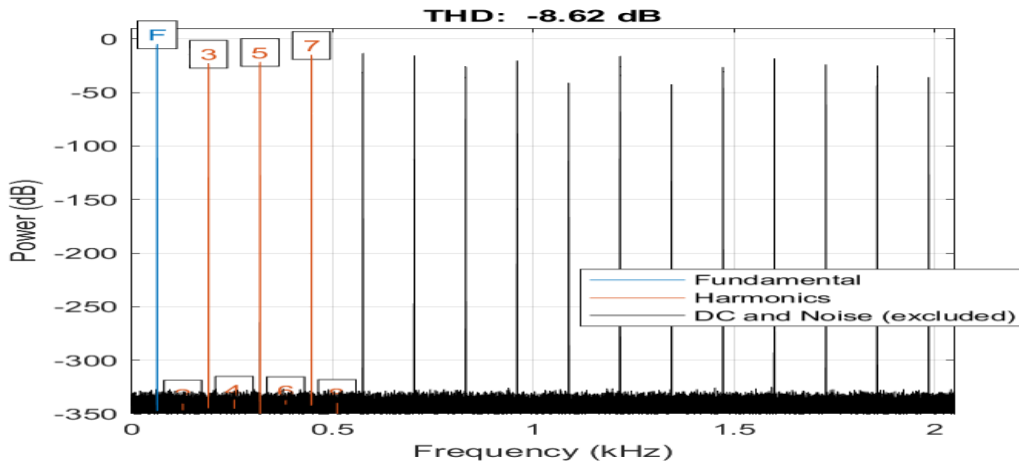


Figura 17. Distorsión Armónica total (THD) de Señal Gaussiana-triángula

Tabla 1. Frecuencia de 8 armónicos

Frecuencia en dB	Frecuencia en Hz
-4.9156	64.0000
-340.5003	128.0000
-23.1267	192.0000
-336.7692	255.9688
-21.4511	320.0000
-337.3153	383.9688
-14.9133	448.0000
-339.9077	512.0312

Conclusiones

La propuesta planteada en este trabajo aumenta la empleabilidad de la modulación PWM, realizando cálculos preliminares de la distorsión armónica total al de una señal gaussiana como señal de referencia, demostrando ser una herramienta con potencial en la eliminación de armónicos no deseados en los variadores de velocidad de motores de inducción.



Referencias

- Alejandro, A. T., Javier, P. R., & Antonio, B. J. J. *Inversor trifásico SPWM para el control de velocidad de un motor de inducción implementado en el microcontrolador PIC18F2431. trabajo, 2, 2.*
- E. Avinash and L. Jebaraj, "A new variable frequency inverted sine carrier PWM modulated semi-cross switched multilevel inverter topologies," 2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICCPCT.2016.7530114.
- J. Lyu, W. Hu, F. Wu, K. Yao and J. Wu, "Variable Modulation Offset SPWM Control to Balance the Neutral-Point Voltage for Three-Level Inverters," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 12, pp. 7181-7192, Dec. 2015, doi: 10.1109/TPEL.2015.2392106.
- M. T. Islam and S. I. Ayon, "Performance Analysis of Three-Phase Inverter for Minimizing Total Harmonic Distortion Using Space Vector Pulse Width Modulation Technique," 2020 23rd International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCIT51783.2020.9392687.
- Torres, C. A., Murillo, D., & PATIÑO, C. R. (2008). *Diseño y construcción de un inversor trifásico. Scientia et technica, 14(40), 37-42.*
- Y. -s. Lai and Y. -k. Lin, "Assessment of Pulse-Width Modulation Techniques for Brushless DC Motor Drives," Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, 2006, pp. 1629-1636, doi: 10.1109/IAS.2006.256754.

