

DISEÑO DE EMULADOR DE TURBINA EÓLICA

Gutiérrez Torres Diego Armando de Jesús (1), Lozano García José Merced (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [diegoadjt@gmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Eléctrica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jm.lozano@ugto.mx]

Resumen

El presente trabajo se enfoca en el diseño e implementación de un emulador de turbina eólica. Al programar la técnica de modulación de ancho de pulso sinusoidal (SPWM) en la tarjeta de evaluación Arduino® Mega 2560, es posible generar las señales de disparo requeridas para el control de los interruptores que conforman la Fuente Inversora de Voltaje (VSI) trifásica. La VSI se diseña y construye utilizando IGBTs como interruptores. Asimismo, al controlar la VSI mediante la técnica SPWM, ésta puede generar voltajes controlables en magnitud, frecuencia y fase, con lo cual es posible controlar la velocidad de un motor de inducción, equipo que se utiliza para emular el funcionamiento de la turbina eólica. Para el presente proyecto se utiliza un motor jaula de ardilla de la marca LabVolt® y mediante la herramienta Simulink del software Matlab® se crea una interfaz gráfica, sobre la cual es posible introducir los valores viento deseados. Ésta curva de viento servirá como señal de referencia para la técnica SPWM y a su vez establecerá la velocidad a la cual girará la turbina eólica.

Abstract

This report is focused on the design and implementation of a wind turbine emulator. By means of programming the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) strategy in the Arduino® Mega 2560 evaluation board, it is possible to generate the required switching signals in order to control the commutation of the switches that form the Three-phase Voltage Source Inverter (VSI). The VSI is designed and implemented using IGBTs as main switches. Likewise, by controlling the VSI through the SPWM technique, the inverter can generate controllable voltages in magnitude, frequency and phase, which make possible to control the induction motor speed. This last equipment is the one utilized to emulate the operation of a wind turbine. For this project a squirrel cage induction motor from LabVolt® is used; besides, through Simulink, a simulation tool of Matlab® software, a graphic user interface is created on which it is possible to enter the desired wind speed values. This wind speed profile will be utilized as reference frequency for the modulating signal in the SPWM modulation strategy and in turn will serve to establish the reference speed to which will rotate the wind turbine.

Palabras Clave

Turbina Eólica, Fuentes Renovables de Energía, Modulación de Ancho de Pulso, Matlab, Micro-controlador.

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual del sector eléctrico va dirigida al incremento en la utilización de energías renovables, siendo la generación eólica una de las opciones con mayor proyección a nivel mundial. En México, el recurso eólico aún no ha sido cuantificado con precisión; sin embargo, con base en mediciones de superficie y en algunos mapas eólicos determinados al momento, se sabe que el recurso con que cuenta el país puede superar al de varios de los países que hoy en día son líderes en generación Eolo-eléctrica [1]. Debido a esto, un gran número de instituciones dedicadas a la educación, investigación y al desarrollo tecnológico dentro del área de la ingeniería eléctrica se encuentran enfocadas al desarrollo de proyectos relacionados con el análisis operativo de sistemas eléctricos que incorporan aero-generadores como fuentes de energía [2]. Por un lado, el modelado y la simulación de sistemas dinámicos son herramientas que proveen información valiosa de la interacción dinámica entre los componentes del mismo; para el caso de la simulación de sistemas de aero-generación es posible estudiar la interacción entre las turbinas eólicas y las redes de potencia a las que se conectan. Mientras que, por otro lado, para la realización de estudios en donde se requiere conocer la interacción de prototipos experimentales del sistema eléctrico con las tecnologías de generación por medios renovables, como en el caso de análisis operativos con los dispositivos de enlace basados en electrónica de potencia, es necesario contar con equipos físicos que generen señales con características similares a las que tendría un sistema real.

Sin embargo, una de las limitantes a las que se enfrentan las instituciones mencionadas, es el tener que invertir sumas considerables para la adquisición de equipos reales o prototipos experimentales; además de que en muchos casos la ubicación de éstas instituciones les impide contar con los recursos eólicos requeridos para la instalación de éste tipo de equipos. En éste sentido, si no es posible contar con un sistema de aero-generación real, existen opciones como los simuladores en tiempo real [3]-[4] o los emuladores [5], los cuales recrean con un buen grado de precisión la operación de los equipos reales.

En ese sentido, en el presente trabajo se propone el diseño e implementación de un emulador de turbina eólica, el cual al basarse en el control de una máquina de inducción mediante la estrategia SPWM programada en un microcontrolador y utilizada sobre una Fuente Inversora de Voltaje (VSI), será posible utilizar la máquina para emular el comportamiento dinámico una turbina eólica, para diferentes condiciones en la velocidad de viento, las cuales podrían ser seleccionadas por los usuarios.

GENERACIÓN EÓLICA

Aun cuando la utilización de la energía del viento es muy antigua, hasta la década de los 80's nace la industria Eolo-eléctrica moderna cuando las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores comerciales se instalaron en California. Al comparar aquellas primeras instalaciones con las actuales centrales, es evidente que la capacidad, la eficiencia e impacto visual han mejorado enormemente [6].

El Aerogenerador

Los aerogeneradores se pueden clasificar según el eje de giro del rotor, la potencia suministrada y el tipo de generador utilizado [7].

De acuerdo al eje del rotor se clasifican como:

- *Aerogenerador de eje vertical.*
- *Aerogeneradores de eje horizontal.*

los aerogeneradores de eje horizontal tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro. Además, debido a que se construyen sobre una torre, aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad de viento con la altura. El aerogenerador tripala, imagen 1, es el más empleado en la actualidad.

Componentes del aerogenerador de eje horizontal

Aun cuando los componentes principales de una aeroturbina de eje horizontal son las palas, el generador eléctrico, la caja de cambios y los mecanismos de control, el proceso mediante el cual la acción de las fuerzas aerodinámicas es

convertida en energía eléctrica, es complejo y requiere de una variedad de componentes para su realización [8]. Los componentes principales que conforman el aerogenerador de eje horizontal se aprecian en la imagen 2.



IMAGEN 1: Aerogenerador tripala de eje horizontal

En cuanto a la producción de energía, el flujo de potencia eólica depende directamente de la velocidad del viento, el área de la sección frontal de la pala y de la densidad del aire. En este sentido, es posible emular la operación de una turbina eólica con un motor de inducción cuya velocidad de giro dependa de un patrón variante en el tiempo, establecido como velocidad de viento.

SISTEMA DE EMULACIÓN DE TURBINA EÓLICA

El emulador de turbina eólica implementado en el laboratorio (imagen 6), utiliza la tarjeta Arduino® Mega 2560, la cual se encarga de la generación de seis señales de control de acuerdo al esquema SPWM. Las señales generadas se conectan a la VSI compuesta por un puente trifásico de IGBTs a través de una etapa de acondicionamiento, la cual amplifica la potencia de las señales generadas por el microcontrolador y aísla las etapas de control y potencia del emulador. A continuación, se describen de forma breve los elementos principales que conforman el emulador de turbina eólica.

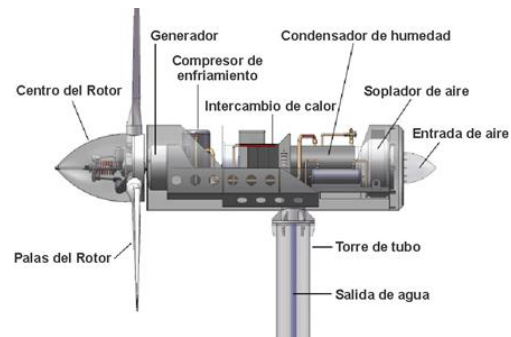


IMAGEN 2: Componentes de un aerogenerador de eje horizontal

Estrategia de modulación SPWM

La técnica denominada Modulación Sinusoidal de Ancho de Pulso (SPWM) empleada en inversores de voltaje, se encarga de controlar las conmutaciones de los interruptores. Ésta técnica se clasifica dentro de las técnicas de intersección triangular y utiliza una señal moduladora sinusoidal que ofrece al menos tres grados de libertad en el control de la señal moduladora, estos son: amplitud, frecuencia y fase. El criterio de operación en este esquema es tal que cuando la señal moduladora es mayor que una señal portadora (triangular de alta frecuencia), se genera un pulso con un valor igual a uno lógico, de lo contrario se genera un pulso con un valor igual a cero, imagen 3.

La frecuencia utilizada para la señal portadora establece la frecuencia de conmutación de los interruptores, mientras que la magnitud, frecuencia y fase de los voltajes generados por la VSI estarán determinadas por estos mismos parámetros de la señal moduladora [10].

Fuente inversora de Voltaje (VSI)

Para controlar la velocidad de un motor de inducción solamente existen dos técnicas: variando la frecuencia eléctrica y cambiando el número de polos de la máquina. En éste trabajo se utilizó la primera de estas técnicas, utilizando para ello una VSI trifásica controlable de seis pulsos, como la que se muestra en la imagen 4. En éste caso la VSI fue construida utilizando los IGBTs 12N60A4D y los drivers HCPL-3120.

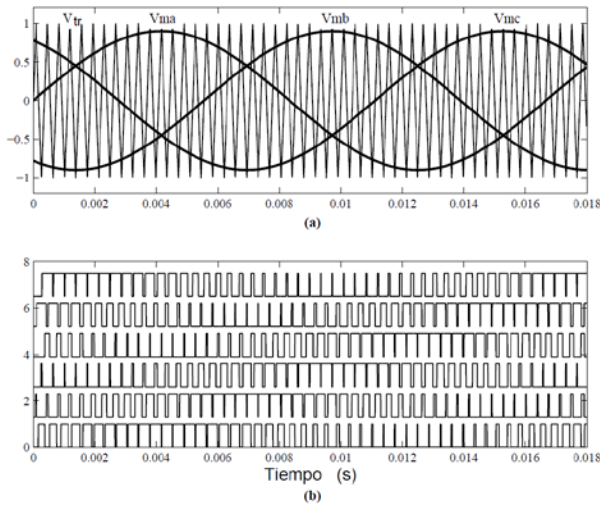


IMAGEN 3: a) Implementación de estrategia SPWM. b) Pulsos para el control de la VSI

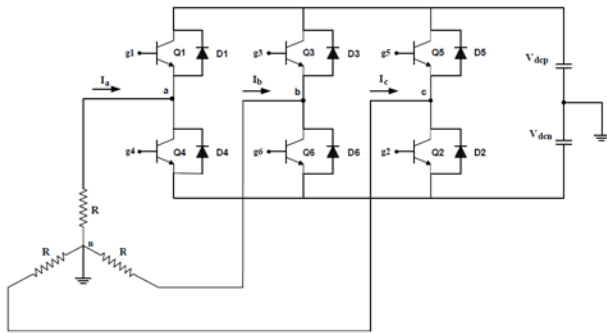


IMAGEN 4: VSI trifásica de seis pulsos con carga resistiva

Interfaz de usuario

En la tarjeta Arduino® Mega 2560 se programa la estrategia SPWM, aunque por cuestiones de espacio el presente trabajo no se presenta el código.

Asimismo, utilizando la biblioteca de bloques del paquete de soporte de Simulink de MATLAB® para Arduino, se creó una interfaz de usuario con la herramienta GUI (Graphical User Interface), imagen 5. Mediante ésta interfaz, el usuario es capaz de introducir los valores de velocidad de viento que se utilizarán para establecer la velocidad a la que se desea gire la turbina eólica.

Estos valores de velocidad entre 5 y 12 m/s, se transforman a valores de frecuencia entre 25 y 60 Hz, para finalmente ser utilizados como valores de referencia para la señal moduladora programada en

la técnica SPWM. Con éste proceso se asegura el generar voltajes de frecuencia variable, a través de la VSI, con los cuales se suministrará la energía eléctrica al motor de inducción y por lo tanto este girará con una velocidad proporcional al valor de velocidad de viento introducida en la interfaz.

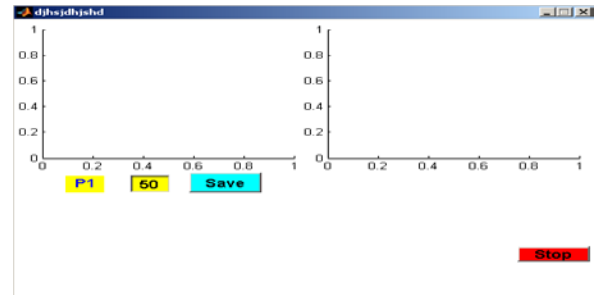


IMAGEN 5: Interfaz gráfica de usuario implementada en Matlab

RESULTADOS

El emulador de turbina eólica de la imagen 6 se implementa en el laboratorio utilizando los siguientes componentes: Tarjeta de control Arduino® Mega 2560, VSI de IGBTs de 750W, Fuente variable de CD marca LabVolt® y Motor de inducción trifásico jaula de ardilla de la marca LabVolt®. En la imagen 7 se observan tanto las señales de conmutación generadas por la tarjeta de control, así como los voltajes generados por la VSI.

Finalmente, para validar el funcionamiento del sistema de emulación de la turbina eólica se registra la velocidad mecánica medida en la flecha del motor de inducción y se compara con la curva de viento introducida en la interfaz, imagen 8.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que el emulador de turbina eólica desarrollado opera de forma satisfactoria, además de que los resultados arrojados son muy similares a los obtenidos con plataformas comerciales, con la gran diferencia de que, en éste caso, al construir una parte de la tecnología empleada, el costo total de la plataforma se reduce hasta en un 80%. Además de que la plataforma desarrollada exhibe una mayor flexibilidad en cuanto al tipo de condiciones

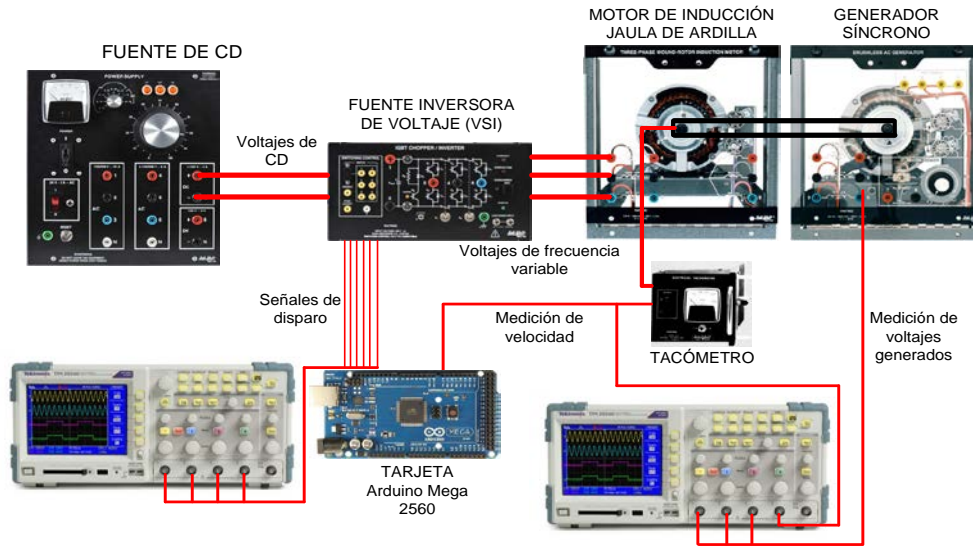


IMAGEN 6: Sistema de emulación de turbina eólica

que se pueden evaluar.

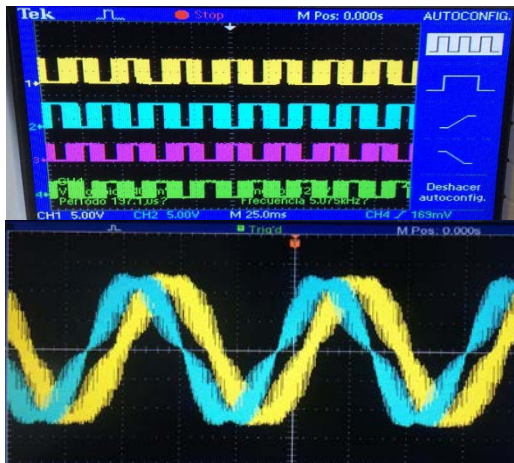


IMAGEN 7: Superior: Señales de conmutación generadas. Inferior: Voltajes de dos fases generadas con la VSI

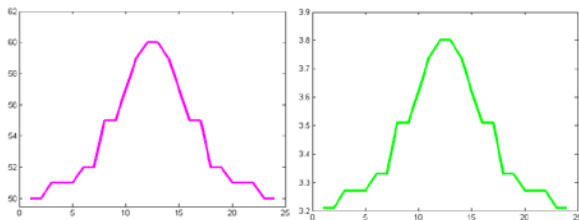


IMAGEN 8: Izquierda: Curva de viento propuesta. Derecha: Curva de velocidad medida en la flecha del motor.

REFERENCIAS

- [1] Camacho, C.A. & Ruedas, E. (2011). Incorporación de un modelo de generador eólico al análisis de flujos dinámicos de potencia. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 7(3), 311-320.
- [2] Lozano, J.M., Hernández, M.A., Estrada, H.J. & Martínez, J. (2012). Simulación de un sistema convertidor matricial-generador eólico. *Proceedings of the IEEE Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*. 319-324.
- [3] OPAL-RT Technologies. <http://www.opal-rt.com/>. [Última consulta: 15 de julio de 2016].
- [4] RTDS Technologies. <https://www.rtds.com/>. [Última consulta: 15 de julio de 2016].
- [5] Lab-Volt. EDUTELSA. <http://edutelsa.com/lab-volt/>. [Última consulta: 15 de julio de 2016].
- [6] Manwell, J.F., Gowan, J.G. & Rogers, A.L. (2002). *Wind energy explained, theory, design and application*. England: John Wiley & Sons.
- [7] Hau, E. (2006). *Wind turbines: fundamentals, technologies, applications and economics*. Springer (2nd edition).
- [8] Villarubia, M. (2004). *Energía eólica*. Barcelona España: Editorial Ceac.
- [9] Burton, T., Sharpe, D. & Jenkins, N. (2001). *Wind Energy Handbook*. England: John Wiley & Sons.
- [10] Lozano, J.M. (2006). *Compensador estática serie para el mejoramiento de la calidad de la energía en redes eléctricas*. Tesis de Maestría. CINVESTAV del IPN, Unidad Gdl.