

EMULADOR DE SEÑALES PARA PRUEBAS EN CONTROLADORES DE SISTEMAS TRIFÁSICOS

Leonel Estrada Rojo

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

l.estrada@itsur.edu.mx

Julio Ortega Alejos

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

j.ortega@itsur.edu.mx

Carlos Alberto Fuentes Hernández

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato

ca.fuentes@itsur.edu.mx

Resumen

En el presente artículo se muestra el desarrollo de un emulador de señales trifásicas, la finalidad de este equipo es el de poder analizar de manera controlada y sin peligro, controladores de sistemas trifásicos y de esta manera conocer la respuesta de los sistemas de control ante las diversas variaciones que se pueden presentar en la línea de alimentación trifásica como pueden ser sag, swells o armónicos. Para realizar la implementación del emulador se recurrió a LabVIEW como lenguaje de programación debido a la facilidad de uso y como hardware a una tarjeta MyRIO de la misma compañía. En la interfaz de usuario del emulador se pueden configurar parámetros como: inyección de armónicos, desfasamiento y cambio en las amplitudes en cada fase de la señal trifásica.

Palabra(s) Clave(s): armónicos, emulador, pruebas en controladores, señal trifásica.

1. Introducción

En el desarrollo de nuevos productos es de vital importancia verificar el funcionamiento ante diversos fenómenos que puedan alterar el comportamiento o incluso causar la destrucción del producto. Esto no es ajeno al diseño de sistemas electrónicos, una de las metodologías de diseño que se sigue comúnmente es: generar las especificaciones de diseño, dimensionar los componentes, simular el sistema en lazo abierto, proponer un controlador y llevar a cabo una simulación en lazo cerrado, armar un prototipo, implementar el controlador y por último sintonizar el controlador [1], es a partir de la etapa de simulación donde se pueden presentar problemas ya que rara vez los resultados obtenidos en simulación funcionan de la misma manera en el sistema real. Fallas en el controlador pueden ocasionar fallas en el sistema, estos problemas pueden generar pérdida de tiempo, ya que solo se tendrá que regresar a un punto de la metodología de diseño, pero en algunos otros casos se puede presentar el daño de componentes o incluso todo el prototipo de forma irreversible e inclusive lesiones en los seres humanos.

Problemas en las redes de alimentación trifásicas

Los principales fenómenos que ocurren en las fuentes de alimentación trifásicas se enlistan a continuación: desviación de frecuencia, amplitud de la tensión, variaciones de la tensión, variaciones rápidas de la tensión, sag, dips, huecos de tensión, Interrupciones breves de la tensión, interrupciones largas de la tensión, sobretensiones temporales, sobretensiones transitorias, desequilibrio de la tensión, tensiones y corrientes armónicas [2]. Estos fenómenos son complicados de replicar en los laboratorios, ya que se requiere de equipo especializado para generarlos y así poder validar el funcionamiento de los sistemas de control.

Generadores de señales trifásicas

En el mercado ya existen algunos equipos que pueden generar señales y funciones arbitrarias, en su mayoría son de un solo canal, pero también los hay de tres o cuatro canales [3]. Es con estos dispositivos que las personas pueden probar los controladores desarrollados y verificar el funcionamiento de su sistema ante posibles problemas que pueden llegar a presentarse en las redes de alimentación

trifásicos. El principal problema de estos equipos es su costo el cual oscila entre los \$8,000 USD hasta los \$64,000 USD los cual los hace inalcanzables para algunas organizaciones.

Fuentes de alimentación trifásicas

Otra posible solución son las fuentes de alimentación trifásicas. Estas son equipos que permiten replicar de forma controlada a la red de alimentación eléctrica, el problema con estos equipos es que son de alta potencia y voltaje, y aun y cuando ofrecen protección a los sistemas que están siendo probados, como puede ser la limitación de corriente en su salida, no son prácticas para probar el circuito controlador ya que es necesario realizar toda una instrumentación para acondicionar los niveles de voltaje a los adecuados para el controlador. Además tienen un costo que oscila entre los \$5,500 USD a los \$25,000 USD dependiendo de la potencia que pueden entregar [4].

Debido a estas razones en el presente artículo se muestra el desarrollo de un instrumento virtual capaz de generar señales trifásicas y emular algunos de los problemas que se presentan de forma más recurrente dentro de los sistemas de alimentación.

2. Métodos

El sistema está basado en la tarjeta de desarrollo de bajo costo MyRIO de la compañía National Instruments. La arquitectura de esta tarjeta se muestra en la figura 1, esta tiene un procesador y un FPGA, en el procesador se pueden realizar cálculos con números en formato flotante lo cual es de mucha ayuda para agilizar tiempos de diseño y cálculos complejos, en el FPGA se realiza toda la comunicación con las salidas o entradas que tiene la tarjeta, esta es una ventaja muy importante ya que se pueden hacer adquisiciones o generación de señales en paralelo [5]. Otra de las características por la que se escogió esta plataforma es porque puede programarse con el lenguaje LabVIEW el cual es gráfico, lo que facilita la programación y generación de código.

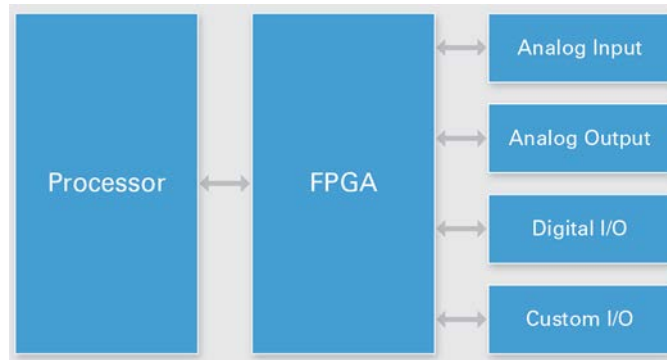


Figura 1 Estructura de NI myRIO.

Creación del instrumento virtual

El proyecto realizado consta de dos archivos de LabVIEW uno sobre el FPGA y otro sobre el procesador. En el archivo del procesador esta la interfaz gráfica de usuario del equipo desarrollado, también se realiza el acondicionamiento de señales que se enviarán al FPGA y la comunicación entre ellos. En la figura 2 se muestra la interfaz gráfica de usuario del sistema, consta de varios controles que sirven para modificar los parámetros de las señales.



Figura 2 Interfaz gráfica de usuario del generador de señales trifásicas.

En la figura 3 se muestra una parte del código desarrollado para el acondicionamiento de la interfaz gráfica de usuario y de la comunicación con el FPGA.

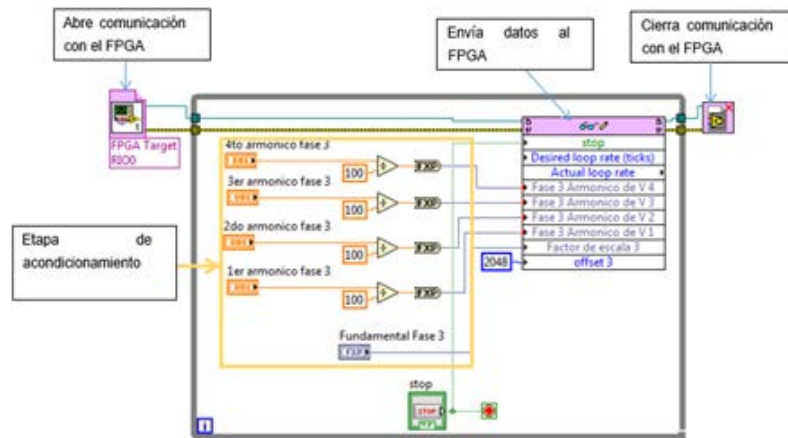


Figura 3 Parte código del procesador, acondicionamiento y comunicación con el FPGA.

En la parte del FPGA del instrumento se lleva a cabo la generación de las señales en base a los parámetros ingresados en la interfaz gráfica de usuario. Esta etapa está basada en el uso del bloque mostrado en la figura 4 el cual produce una señal senoidal punto a punto, los parámetros de entrada a la función son la frecuencia y la fase.

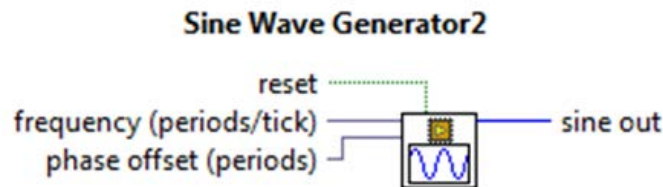


Figura 4 Función generador de forma de onda senoidal.

Para lograr la frecuencia deseada de la señal senoidal solo se tiene que cambiar el valor en su entrada usando ecuación 1.

$$F = \frac{f_D}{f_{FPGA}} \quad (1)$$

Donde:

F : Valor entrada frequency de la función generador de onda senoidal (Hz).

f_D : Frecuencia deseada (Hz).

f_{FPGA} : Frecuencia de reloj de la FPGA (40MHz).

Para hacer que la fase cambie a la que se quiere se debe de utilizar ecuación 2.

$$\theta = \frac{\phi_D}{2\pi} \quad (2)$$

Donde:

θ : Valor entrada de la fase a la función generador de onda senoidal (rad).

ϕ_D : Ángulo de fase deseado (rad).

La señal senoidal generada es de 212 bits es decir tiene 4096 valores, los convertidores digital a analógico de la tarjeta MyRIO también son de 212 bits y un voltaje a escala completa de 5V, es decir que si se genera una onda y se saca por una salida analógica de la MyRIO se obtiene una señal de 0 a 5 V lo cual sería la amplitud máxima de la señal, para cambiar la amplitud de la señal, a la salida de la función, se debe multiplicar por una constante que esté en el rango de 0 a 1 esto con el fin de no saturar al convertidor analógico a digital (DAC por sus siglas en inglés). Es labor de la persona que use el equipo dar un significado en cuanto a amplitud representada por la señal senoidal generada, por ejemplo una salida de 1.25 Vp puede representar una señal de 180 Vp.

Para agregar contenido armónico a las señales fundamentales, se utilizaron más bloques de funciones sinusoidales, pero la frecuencia es multiplicada por múltiplos impares a la fundamental (armónico 3, 5, 7 y 9) y sumados a la señal fundamental. De manera que en la interfaz de usuario se puede agregar un armónico específico a cada fase con su respectiva amplitud.

3. Resultados

La primera prueba que se realizó al instrumento virtual fue el cambio de amplitud. En la figura 5 se muestra el resultado obtenido, la fase 1 se muestra en un color negro y tiene una amplitud de 0.75 Vp, la fase 2 se muestra en color rojo con una amplitud de 1.3 Vp y por último la fase 3 en color verde muestra una amplitud de 0.2 Vp, también se puede notar el desfase conseguido en cada fase el cual es de 120°.

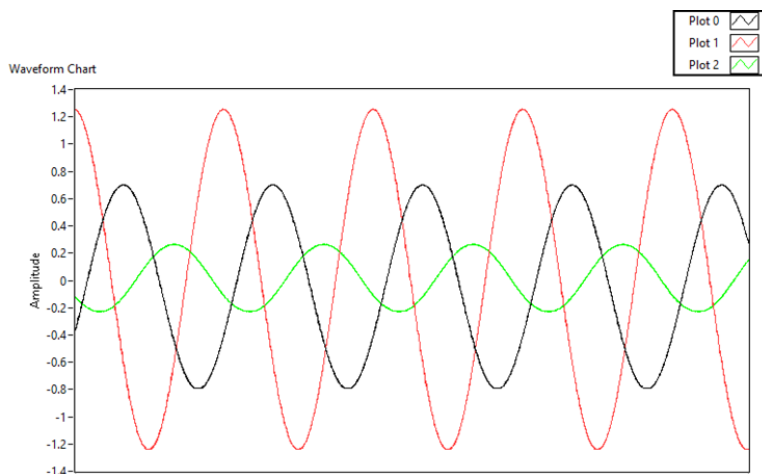


Figura 5 Señales generadas a diferentes amplitudes y desfase de 120° entre ellas.

Algunos otros resultados obtenidos son la generación de armónicos a la señal trifásica generada. En la figura 6 se muestra la interfaz gráfica de usuario configurada para que en la fase 1 no tenga armónicos, la fase 2 presente el tercer y quinto armónico y la fase 3 presente del tercer al noveno armónico.

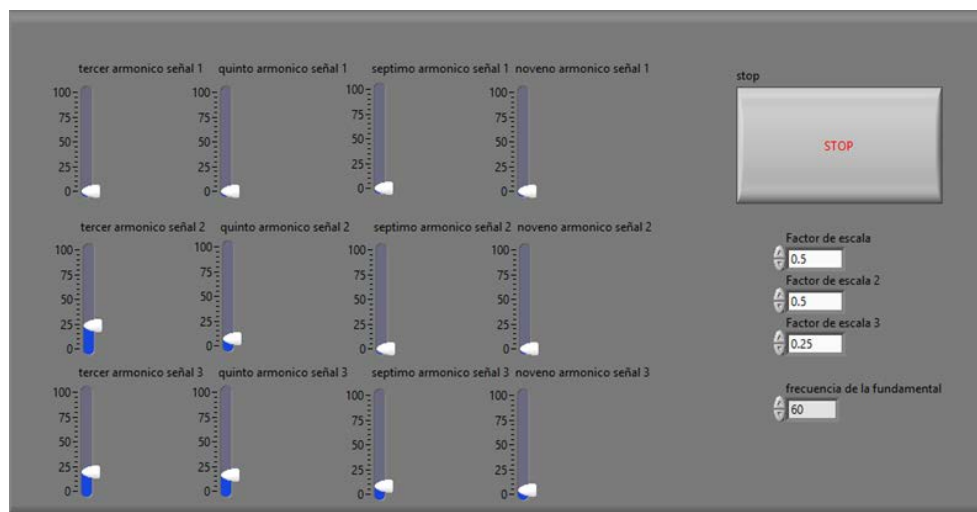


Figura 6 Interfaz gráfica de usuario con generación de armónicos.

En la figura 7 se muestran las señales generadas en el tiempo. Se observa como la fase 1 no presenta contenido armónico y las otras dos fases si lo tienen.

En la figura 8 se observa el espectro de las señales por fase, se observa como la fase 1 no contiene armónicos, la fase 2 contiene armónicos a la frecuencia de 180

Hz y 300 Hz y la fase 3 contiene armónicos a las frecuencias de 180, 300, 420, 540 Hz.

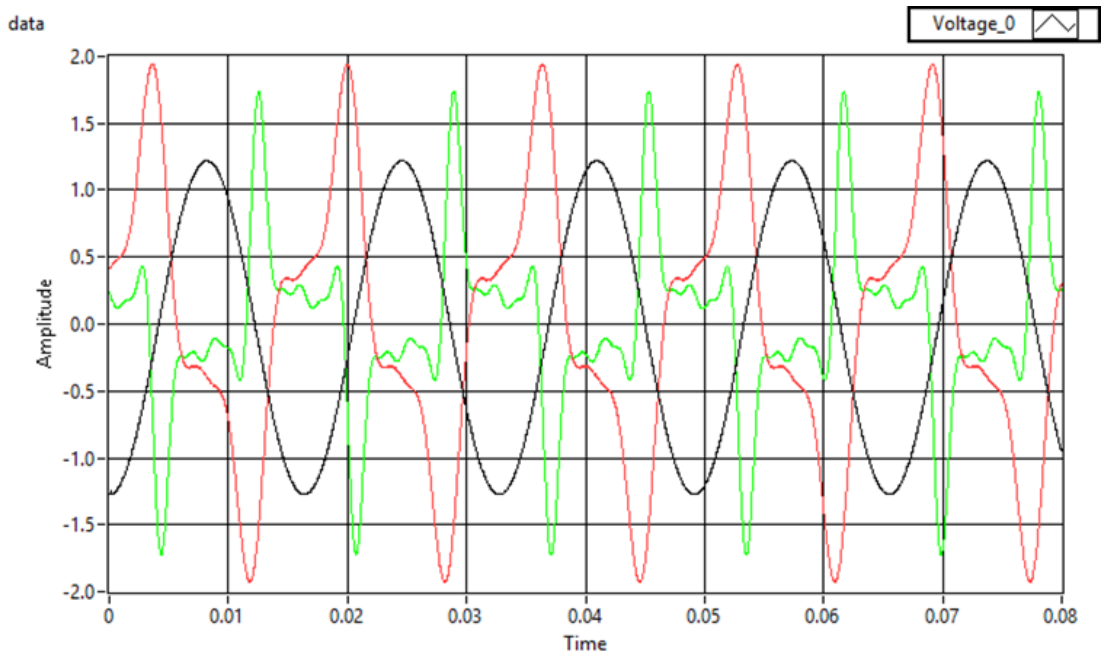


Figura 7 Señales generadas con contenido armónico.

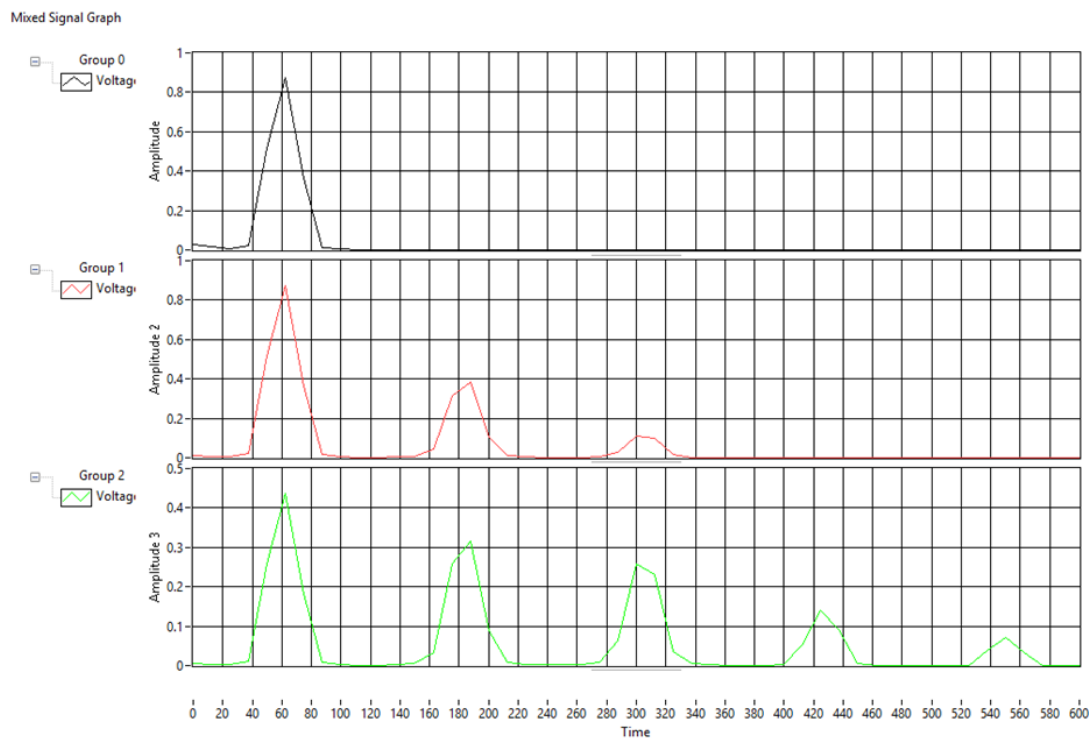


Figura 8 Espectro de las señales generadas con contenido armónico.

4. Conclusiones

En este artículo se presenta el desarrollo de un instrumento virtual que es capaz de generar señales trifásicas con perturbaciones. El sistema utiliza una tarjeta MyRIO de bajo costo de la compañía National Instruments. Se programó tanto el FPGA como el procesador que contiene utilizando el software LabVIEW de la misma compañía.

El desarrollo del emulador es sencillo y se obtuvieron resultados satisfactorios al generar la señal trifásica con presencia de armónicas y cambios en los parámetros fundamentales de las señales.

Esta herramienta puede llegar a ayudar a las personas a probar sistemas de control para equipo trifásico de una forma sencilla, barata y sin riesgos.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] P. P. a. S. S. Shahram Karimi, «An HIL-Based Reconfigurable Platform for Design, Implementation, and Verification of Electrical, System Digital Controllers,» *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 57, n° 4, pp. 1226-1236, 2010.
- [2] G. M. R. Leal, «Calidad de la energía eléctrica: camino a la normalización,» de Simposio de Metrología, Santiago de Queretaro, México, 2008.
- [3] F. T. S. d. C.V., «Final Test,» 01 01 2016. [En línea]. Available: <http://www.finaltest.com.mx/category-s/127.htm>. [Último acceso: 07 07 2016].
- [4] F. T. S. d. C.V., «Final Test,» Final Test, 01 01 2016. [En línea]. Available: <http://www.finaltest.com.mx/AC-power-supplies-s/33.htm>. [Último acceso: 07 07 2016].
- [5] National Instruments, NI MyRIO-1900 User guide and Specifications, Austin, Texas, USA: National Instruments, 2016.