

MONITOREO DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS RELACIONADAS CON UN GENERADOR TRIFÁSICO¹

MONITORING ELECTRIC VARIABLES OF THREE-PHASE
POWER GENERATORS

MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS ELÉTRICAS
RELACIONADAS A UM GERADOR TRIFÁSICO

Flavio Humberto Fernández-Morales

Doctor en Ingeniería Electrónica. Profesor Titular, Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías (GEANT), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Facultad Seccional Duitama, Colombia
flaviofm1@gmail.com,

Julio Enrique-Duarte

Doctor en Ciencias Físicas. Profesor Titular, Grupo de Energía y Aplicación de Nuevas Tecnologías (GEANT), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Facultad Seccional Duitama, Colombia
julioenriqued1@gmail.com

RESUMEN

ABSTRACT

Los generadores trifásicos son máquinas ampliamente utilizadas como fuentes de energía eléctrica. Es común encontrarlos asociados a sistemas de alimentación alternativos como grupos electrógenos, microcentrales hidráulicas y generadores eólicos. Usualmente estos generadores, de baja y media potencia, no cuentan con la instrumentación adecuada para que el usuario pueda establecer su correcto funcionamiento. En este trabajo se describe el diseño y puesta a punto de un sistema para la medición de las variables asociadas a un generador trifásico. Se desarrollaron dos módulos: uno de tensión, que adicionalmente se encarga de medir la frecuencia y verificar la secuencia de fase; mientras que el otro módulo mide la corriente eléctrica. El procesamiento de la información se realiza con microcontroladores PIC 16F873, a los cuales se adaptaron los transformadores de medida y demás dispositivos para el acondicionamiento de las señales. Cada módulo permite la visualización de las variables a través de una pantalla de cristal líquido. El rango de operación del sistema es de 22 a 150 VAC, con un error relativo máximo de 7.6%; mientras que la corriente puede variar 100 A, con un error relativo máximo de 6.3%.

Three-phase power generators are machines which are extensively used as electric power sources. They are commonly found in combination with alternate power supply sources such as generating sets, small hydroelectric power facilities, and wind power generators. These low- and medium-power generators are not usually provided with suitable devices that allow users to determine whether or not they are operating properly. This paper describes the design and implementation of a system for measuring variables associated with three-phase power generators. Two modules were developed: a voltage-based module that is also used for measuring the frequency and checking the phase sequence, and a second model that measures electric current. Data is processed using PIC 16F873 micro controllers to which measuring transformers and other signal conditioning devices were adapted. Each module makes it possible to view the variables on a liquid crystal display. The system operates in the range of 22 to 150 VAC with a maximum relative error of 7.6%. The current can vary by up to 100 A with a maximum relative error of 6.3%.

PALABRAS CLAVE

KEYWORDS

Generador trifásico, medición de tensión, corriente eléctrica, calibración, acondicionamiento de señales.

Three-phase power generator, voltage measurement, electric current, calibration, signal conditioning.

RESUMO

Os geradores trifásicos são máquinas amplamente utilizadas como fontes de energia elétrica. É comum encontrá-los associados a sistemas de alimentação alternativos como grupos eletrógenos, microcentrais hidráulicas e geradores eólicos. Geralmente, esses geradores, de baixa e média potência, não contam com a instrumentação adequada para que o usuário possa estabelecer seu correto funcionamento. Neste trabalho, descreve-se o desenho e a revisão de um sistema para a medição das variáveis associadas a um gerador trifásico. Desenvolvem-se dois módulos: um de tensão, que adicionalmente se encarrega de medir a frequência e verificar a sequência de fase; enquanto que o outro módulo mede

a corrente elétrica. O processamento da informação é realizado com microcontroladores PIC 16F873, aos quais se adaptarão os transformadores de medida e demais dispositivos para o acondicionamento dos sinais. Cada módulo permite a visualização das variáveis por meio de uma tela de cristal líquido. A faixa de operação do sistema é de 22 a 150 VCA, com uma margem relativa de erro máxima de 7.6%; enquanto que a corrente pode variar 100 A, com uma margem relativa de erro máxima de 6.3%.

PALAVRAS-CHAVE

Gerador trifásico, medição de tensão, corrente elétrica, calibração, acondicionamento de sinais.

Introducción

Los generadores trifásicos son máquinas ampliamente utilizadas como fuentes de energía eléctrica. Es común encontrarlos asociados a sistemas de alimentación alternativos como grupos electrógenos, microcentrales hidráulicas y turbinas eólicas, los cuales han dado origen en el sector eléctrico a una tendencia conocida como generación distribuida (Di Prátula *et al.*, 2012; Carvajal y Marín, 2013; Vargas *et al.*, 2014).

Para establecer su correcto funcionamiento es necesario adaptar instrumentos de medida como voltímetros y amperímetros, los cuales hoy en día pueden ser reemplazados por sistemas de adquisición de datos que permiten el monitoreo de las variables relacionadas (Osorio *et al.*, 2010).

Los dispositivos de carga eléctrica, como motores, luminarias, computadores, aparatos de audio y video, entre otros, están diseñados para trabajar en óptimas condiciones a un nivel de tensión fijo (Cruz *et al.*, 2013). De subir o bajar los niveles de tensión se perturbará el correcto funcionamiento de los elementos de carga, pudiendo llegar incluso a sufrir daños graves. Por esta razón es conveniente controlar que los niveles de tensión se mantengan en un rango determinado (Bravo y Yáñez, 2009).

Además, cuando se trata de cargas trifásicas es necesario garantizar la secuencia correcta de fases ya que, en procesos donde existan motores trifásicos, una secuencia de fase incorrecta puede ocasionar pérdidas o daños en el proceso debido a la inversión de giro de los motores.

Otro parámetro importante es la frecuencia de la red, debido a los cambios que se pueden presentar, especialmente cuando se trata de fuentes de alimentación auxiliar (Villablanca, 2008; Trujillo *et al.*, 2012). En el caso de los grupos electrógenos, el monitoreo de frecuencia toma mayor importancia ya que al detectarse variación se puede predecir la existencia de una falla en el regulador de velocidad o una falla por sobrecarga.

Los generadores trifásicos están diseñados para producir una potencia determinada a un voltaje fijo. Teniendo en cuenta que la potencia entregada es directamente proporcional a la corriente, cuando se supera un límite de corriente el generador se encontrará en sobrecarga, situación que no se debe permitir debido a que sus bobinados se recalientan, se daña el aislamiento de conductores y se puede quemar el generador (Flores y Asiain, 2011; Trebilcock *et al.*, 2014). En caso de que el generador se accione a través de un motor de combustión, se pueden presentar daños mecánicos en el mismo ya que el motor tratará de entregar toda la potencia requerida por el generador. Debido a esto, se debe monitorear la corriente que entrega el generador para identificar la posible ocurrencia de una sobrecarga generando una señal de alarma con el fin de tomar los correctivos a que haya lugar.

En este trabajo se describe el diseño y puesta a punto de un sistema para la medición de las variables asociadas a un generador trifásico. Se desarrollaron dos módulos: uno de tensión, que adicionalmente se encarga de medir frecuencia y verificar la secuencia de fase, mientras que el otro módulo mide la corriente eléctrica. El procesamiento de la información se realiza con microcontroladores PIC 16F873, a los cuales se

adaptaron los transformadores de medida y demás dispositivos para el acondicionamiento de las señales. Cada módulo permite la visualización de las variables a través de una pantalla de cristal líquido.

A continuación se presenta el diseño del sistema de monitoreo propuesto. Luego se describe la puesta a punto de los módulos, se muestran las curvas de calibración y se brindan las conclusiones respectivas.

1. Materiales y métodos

1.1. MÓDULO DE TENSIÓN

Este módulo se encarga de medir la tensión, la frecuencia y verificar la secuencia de fase. Como dispositivo de procesamiento se utilizó un microcontrolador PIC16F873, el cual captura la información y la almacena para su posterior visualización en una pantalla de cristal líquido, LCD, como se ilustra en la Figura 1.

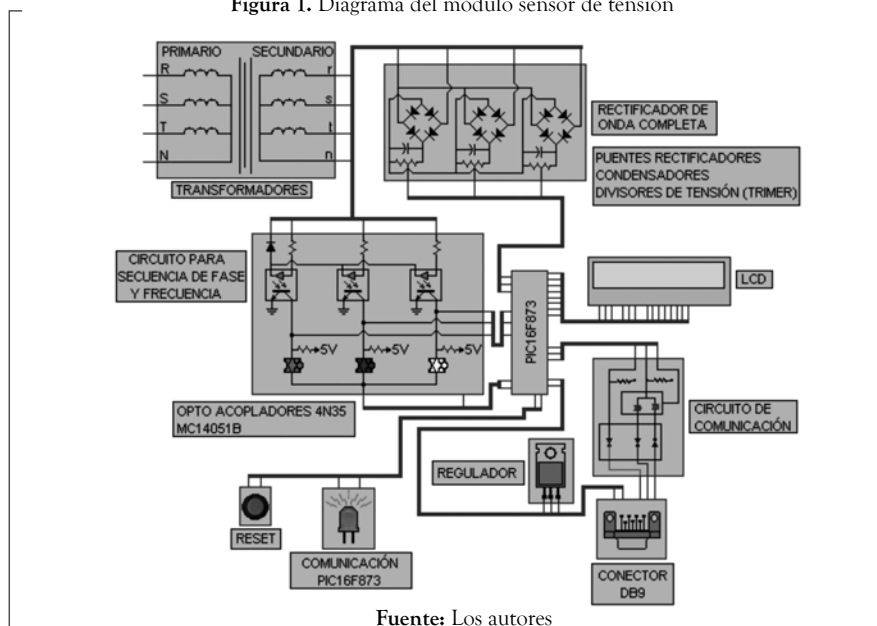
El módulo cuenta con tres transformadores de tensión, de relación de transformación de 120V/6V en conexión YY. La tensión de fase obtenida en el secundario de los transformadores se rectifica a través de tres puentes rectificadores, uno por fase, obteniendo una señal DC, con la ayuda de un condensador, que se reduce a la mitad mediante divisores de tensión. Esta señal DC es proporcional a la tensión de fase que se está midiendo

en el primario de los transformadores; la señal obtenida en los divisores de tensión se conecta a tres pines del conversor análogo-digital del microcontrolador para efectuar la medida de tensión en cada fase R, S y T, (Ver Figura 1).

Para medir la frecuencia se conecta un optoacoplador a cada secundario de los transformadores; con cada ciclo positivo se genera un pulso a nivel TTL como se muestra en la Figura 2, los pulsos de cada fase R, S y T se ingresan a tres entradas de un multiplexor/demultiplexor MC14051B, con el fin de enviar por un canal de salida los pulsos de la fase seleccionada; los pulsos ingresan a un pin del microcontrolador para ser contados durante 60 segundos. La selección de pulsos de fase que ingresan al pin está habilitada por el mismo microcontrolador a través de los pines de control del MC14051B, de esta forma se mide periódicamente la frecuencia en cada fase. Con esta configuración se puede medir la frecuencia cuando sólo funcionen una o dos fases.

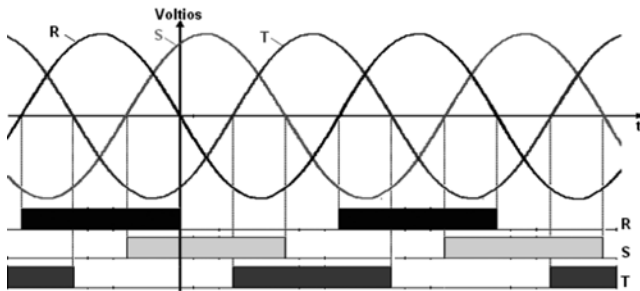
Para la secuencia de fase se tiene en cuenta que cuando se inicia el pulso del optoacoplador de la fase R (paso de 0 a 5V o flanco ascendente), el pulso del optoacoplador de la fase S debe estar en nivel bajo (0V) y el pulso del optoacoplador de la fase T debe estar a nivel alto (5V), como aparece en la Figura 2. Si no se cumple esta condición la secuencia de fase es incorrecta y se cargará dicha información en un registro para ser visualizada.

Figura 1. Diagrama del módulo sensor de tensión



Fuente: Los autores

Figura 2. Sistema trifásico y pulsos obtenidos en los optoacopladores



Fuente: Los autores

Para la función de transferencia de este módulo se parte de la ecuación de relación de transformación para los transformadores de tensión, que en este caso vale 20.

En los secundarios de los transformadores se tiene un rectificador de onda completa por cada fase, con un condensador que se carga a la tensión V_c .

Ecuación 1

$$V_c = \sqrt{2} * V_{2rms}$$

Donde V_c es la tensión en el condensador y V_{2rms} es la tensión rms del secundario.

En las entradas del conversor análogo-digital del PIC16F873 se toma la mitad de la tensión V_c , para adaptarlo al rango de operación del conversor, por medio de un divisor de tensión y se tiene:

Ecuación 2

$$V_{AN} = \frac{V_c}{2} = \frac{\sqrt{2} * V_{2rms}}{2}$$

Siendo V_{AN} la tensión en el conversor análogo digital.

Despejando V_{2rms} de la ecuación 2 se tiene:

Ecuación 3

$$V_{2rms} = \sqrt{2} * V_{AN}$$

Reemplazando ésta ecuación en la relación de transformación, se tiene que la función de transferencia teórica para tensión en el primario, V_{1rms} es:

Ecuación 4

$$V_{1rms} = 20 * \sqrt{2} * V_{AN}$$

La ecuación 4 es la base para la programación del microcontrolador que da inicio al proceso de calibración del módulo.

1.2. MÓDULO DE CORRIENTE

En el sistema propuesto se tiene un módulo sensor de corriente para el generador trifásico. Este módulo se encarga de medir la corriente de cada fase R, S y T y de guardar periódicamente los valores en los registros de un PIC16F873, para su posterior visualización en una pantalla LCD.

El módulo funciona con tres transformadores de corriente de relación de 100/5 A. En los terminales de los secundarios se coloca una resistencia de 3.3 Ω , con el objetivo de tener una diferencia de potencial en sus terminales. Este voltaje se rectifica a través de tres puentes rectificadores de onda completa y con la ayuda de tres condensadores se logra una tensión DC. Esta tensión, proporcional a la corriente que circula por el primario de los transformadores, se reduce a la quinta parte mediante divisores de tensión y se conecta a tres pines del conversor análogo/digital del PIC16F873, para realizar la medida de corriente en cada fase, (ver Figura 3, pág 318).

Para la función de transferencia de este módulo se parte de la ecuación de relación de transformación para los transformadores de corriente, que en este caso vale 20.

Por ley de Ohm, I_{2rms} en la resistencia de 3.3 Ω es:

Ecuación 5

$$I_{2rms} = \frac{V_{2rms}}{R}$$

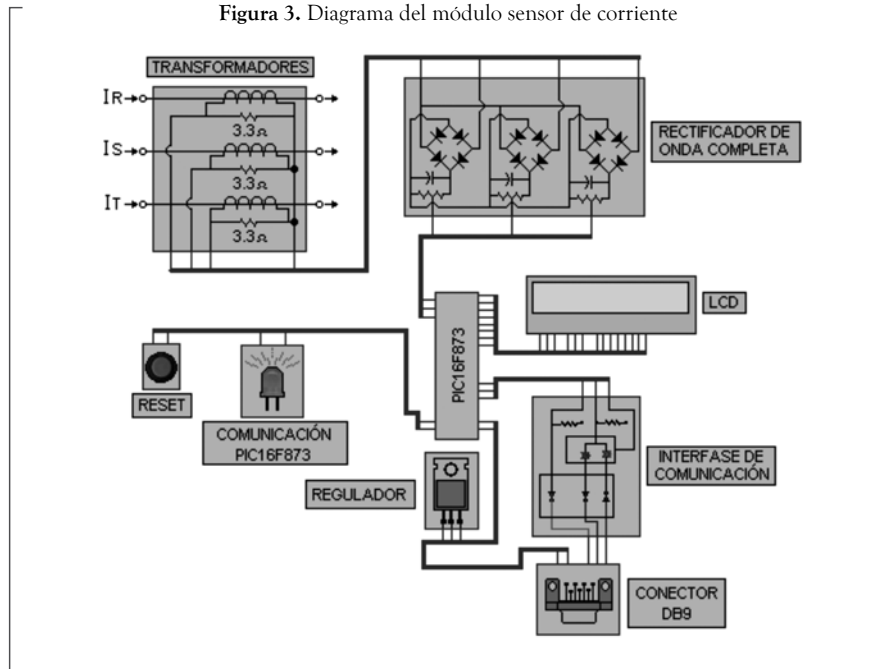
Donde I_{2rms} es la corriente rms del secundario, V_{2rms} es la tensión rms en la resistencia de 3.3 Ω y R es la resistencia de 3.3 Ω .

De modo que la corriente en el primario, I_{1rms} , vendrá dada por:

Ecuación 6

$$I_{1rms} = 20 * \frac{V_{2rms}}{R}$$

Figura 3. Diagrama del módulo sensor de corriente



Fuente: Los autores

De los terminales de las tres resistencias (una para cada fase) se toma la tensión para los rectificadores de onda completa con sus tres condensadores que se cargan a la tensión V_c dada por la Ecuación 1.

En las entradas del conversor análogo/digital del PIC16F873 se toma la quinta parte de la tensión V_c por medio de un divisor de tensión y se tiene:

Ecuación 7

$$V_{AN} = \frac{V_c}{5} = \frac{\sqrt{2} * V_{2rms}}{5}$$

Despejando la ecuación 7 V_{2rms} , se tiene:

Ecuación 8

$$V_{2rms} = \frac{5}{2} * \sqrt{2} * V_{AN}$$

Remplazando la ecuación 8 en la ecuación 6 se tiene:

Ecuación 9

$$I_{1rms} = 20 * \frac{\frac{5}{2} * \sqrt{2} * V_{AN}}{R}$$

Simplificando en la ecuación 9 se tiene:

Ecuación 10

$$I_{1rms} = \frac{50 * \sqrt{2} * V_{AN}}{R}$$

Como las resistencias utilizadas son de 3.3Ω , se reemplaza este valor en la ecuación 10 y se obtiene la función de transferencia teórica para este módulo.

Ecuación 11

$$I_{1rms} = 21.427 * V_{AN}$$

Esta función de transferencia es la base para la programación del microcontrolador encargado de procesar los datos de corriente para cada fase.

2. Resultados y discusión

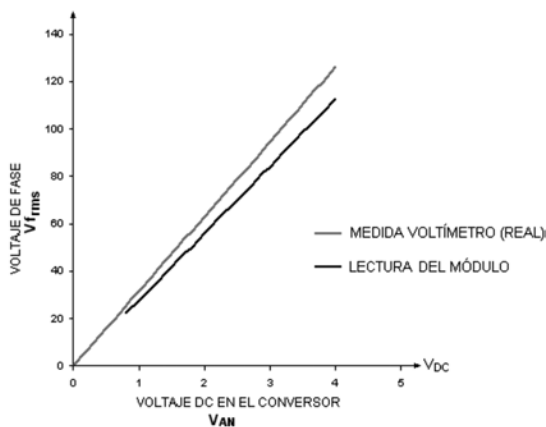
En éste apartado se presenta el ajuste de las funciones de transferencia y se hace la descripción de las pruebas hechas a cada módulo para verificar su correcto funcionamiento.

2.1. PRUEBAS EN EL MÓDULO SENSOR DE TENSIÓN

Este módulo se puso a prueba utilizando una fuente trifásica variable entre 0 y 125 V_{rms} (voltaje de fase). Con el módulo programado con la ecuación 4, ecuación de transferencia teórica para tensión, se obtuvieron las lecturas que se muestran en la Figura 4.

En la Figura 4 se observa que el valor mínimo registrado por el módulo es de 22 V_{rms} ; ésta situación se explica debido a la tensión umbral de los diodos del puente rectificador, los cuales conducen aproximadamente a partir de 0.7 V_{DC} .

Figura 4. Gráfica de lecturas de prueba para el módulo sensor de tensión



Fuente: Los autores

Para ajustar la ecuación a los valores reales se calcula una nueva función de transferencia, con el uso del método de mínimos cuadrados (Leithold, 2000), a partir de los valores medidos en la entrada del conversor Analógico/Digital (V_{AN}) y en un voltímetro de referencia (V_f):

Ecuación 12

$$V_f = m * V_{AN} + b$$

Donde m es la pendiente de la recta de regresión y b es el término independiente.

Ecuación 13

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n (V_{AN i} * V_{fi}) - \sum_{i=1}^n V_{AN i} * \sum_{i=1}^n V_{fi}}{n \sum_{i=1}^n (V_{AN i})^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{AN i} \right)^2}$$

Ecuación 14

$$b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n V_{fi} - m * \sum_{i=1}^n V_{AN i} \right)$$

Siendo n el número de lecturas.

La pendiente para la nueva función de transferencia se obtiene a partir de los datos experimentales de la Figura 4, que en este caso tiene un valor de 31.55. Igualmente, el término independiente para la nueva función de transferencia es -0.028. Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 12 se obtiene la nueva función de transferencia para la tensión:

Ecuación 15

$$V_f = 31.55 * V_{AN} - 0.028$$

Como el término independiente es muy pequeño cuando se compara con los valores de V_f , se puede despreciar, dando como resultado la nueva función de transferencia: $V_{rms} = V_f$; la ecuación así obtenida se utiliza en la programación del microcontrolador en el módulo sensor de tensión.

Ecuación 16

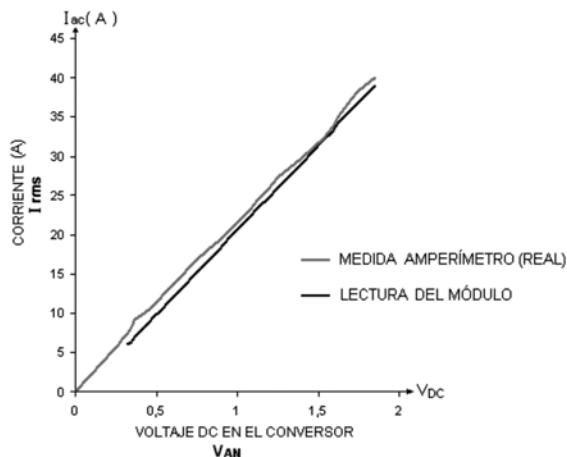
$$V_{rms} = 31.55 * V_{AN}$$

Al reprogramar el módulo de tensión con la nueva función de transferencia, dada por la ecuación 16, se obtiene un error relativo que varía entre 0.1 y 7.6 %. Se observa que el error relativo para niveles de tensión menores a 60 V es más alto, mientras que para niveles de tensión mayores de 60 V el error relativo disminuye.

2.2. PRUEBAS EN EL MÓDULO SENSOR DE CORRIENTE

Este módulo se puso a prueba utilizando un banco de cargas que permite variar el flujo de corriente entre 0 y 40 A, mediante nueve cargas resistivas. Con el módulo programado con la ecuación 11 se obtuvieron las lecturas que se muestran en la Figura 5. Se observa que en el módulo se tienen lecturas a partir de 7 A debido a que los diodos del puente rectificador conducen aproximadamente a partir de 0.7 V_{DC}

Figura 5. Gráfica de lecturas de prueba para el módulo sensor de corriente



Fuente: Los autores

Para ajustar la ecuación a los valores reales se calcula una nueva función de transferencia, utilizando el método de mínimos cuadrados con los valores medidos en la entrada del convertor análogo/digital (V_{AN}) y en el amperímetro de referencia (I_{rms}):

Ecuación 17

$$I_{rms} = m * V_{AN} + b$$

Donde m es la pendiente de la recta de regresión y b es el término independiente.

Ecuación 18

$$m = \frac{n \sum_{i=1}^n (V_{AN i} * I_{rms}) - \sum_{i=1}^n V_{AN i} * \sum_{i=1}^n I_{rms}}{n \sum_{i=1}^n (V_{AN i})^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{AN i} \right)^2}$$

Siendo n el número de lecturas.

Ecuación 19

$$b = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n I_{rms} - m * \sum_{i=1}^n V_{AN i} \right)$$

La pendiente para la nueva función de transferencia se obtiene a partir de los datos experimentales de la Figura 5, que en este caso tiene un valor de 21.279. Igualmente, el término independiente para la nueva función de transferencia es 0.574. Reemplazando los valores anteriores en la ecuación 17 se obtiene la nueva función de transferencia para la corriente:

Ecuación 20

$$I_{rms} = 21.279 * V_{AN} + 0.574$$

Al reprogramar el módulo de corriente con la nueva función de transferencia, dada por la ecuación 20, se obtiene un error relativo que varía entre 0.9 y 6.3 %. El error se da principalmente porque en el módulo no se visualizan las décimas de la variable.

3. Conclusiones

Con el diseño de este sistema se presenta una alternativa para el monitoreo de las variables asociadas al funcionamiento de un generador trifásico. Se desarrollaron dos módulos para la medición de tensión, corriente, frecuencia y secuencia de fases cuyo estado se almacena para su visualización. Adicionalmente, esta información se puede transferir a un computador para el monitoreo y control de las variables asociadas al generador trifásico.

Se logró un rango de operación de 22 a 150 VAC, con un error relativo máximo de 7.6%; mientras que la corriente puede variar 100 A, con un error relativo máximo de 6.3%.

El sistema desarrollado permite la lectura, en tiempo real, de la corriente, voltaje, frecuencia y secuencia de fases asociadas a un generador trifásico. La información obtenida es más confiable que la entregada por los instrumentos análogos, usualmente asociados a generadores de baja y media potencia.

Para el monitoreo de tensiones y corrientes con rangos mayores a los aquí presentados, se recomienda reemplazar los elementos sensores por los adecuados. Por ejemplo, el módulo sensor de corriente tiene transformadores de relación de 100/5 A, lo que limita la medida hasta una corriente de 100 A. Sin embargo, al reemplazar los transformadores por unos con relación 200/5 A, el límite se incrementaría a 200 A. Se puede

utilizar cada módulo sensor independientemente como instrumento digital de medida de las variables específicas.

Teniendo en cuenta la importancia de la automatización en la industria, con el sistema desarrollado se observa la versatilidad de los microcontroladores en la obtención de dispositivos de gran funcionalidad en sistemas de control a bajo costo y volumen reducido.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

NOTAS

1. Artículo producto del proyecto de investigación "Desarrollo de un sistema automático para la medición de los parámetros de operación en un motor diésel asociado a un grupo electrógeno".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAVO DE LAS CASAS, Marta y YANEZ BOZA, Yumil. Retos a las protecciones eléctricas en las redes de distribución con generación distribuida. *En: Ingeniare. Rev. chil. ing. [online].* vol.17, No. 1, (2009); p. 101-107. ISSN 0718-3305. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052009000100011&lng=es&nrm=iso>. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052009000100011>.
2. CARVAJAL QUINTERO, Sandra Ximena y MARÍN JIMÉNEZ, Juan David. Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico. *En: Tecnum [en línea] No. 17 (Enero-Marzo, 2013);* Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257025800009>. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2014] ISSN 0123-921X.
3. CRUZ-ARDILA, Juan Carlos; CARDONA-GOMEZ, Juan Carlos y HERNANDEZ-PORRAS, Diego Mauricio. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa. *En: Entramado [online].* Vol.9, No. 2 (2013). p. 234-248. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032013000200017&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-23] ISSN 1900-3803.
4. DI PRATULA, Horacio R; GUILLERMO, Eduardo; ROSSI, Andrea P y BOCERO, Rodolfo. Turbinas Eólicas: Optimización en el Pre-Diagnóstico de Fallas en el Generador. *En: Inf. tecnol. [online].* Vol.23, No. 1 (2012). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642012000100016&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-23] ISSN 0718-0764.
5. FLORES, Roberto y ASIAIN, Tomás I. Diagnóstico de Fallas en Máquinas Eléctricas Rotatorias Utilizando la Técnica de Espectros de Frecuencia de Bandas Laterales. *En: Inf. tecnol. [online].* Vol.22, No. 4 (2011). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000400009&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-23], ISSN 0718-0764.
6. LEITHOLD, Louis. El cálculo. 7 ed. México: Universidad Iberoamericana, 2000. p. 998-999. ISBN: 9789706131829.
7. OSORIO, John Eduar; PEREZ RAMIREZ, Juan Daniel y RODRIGUEZ BARRERA, Mario Alberto. Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente directa. *En: Tecnum [online].* Vol.14, No. 27 (2010). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2010000200007&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-23] ISSN 0123-921X.
8. TREBILCOCK, Manuel; SANTAMARIA, Francisco y ALARCON, Jorge A. Análisis de estabilidad transitoria en un sistema industrial con generación propia interconectado con el sistema de potencia. *En: Inf. tecnol. [online].* Vol.25, No. 1(2014). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000100009&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-12] ISSN 0718-0764.
9. TRUJILLO RODRIGUEZ, César Leonardo; DIAZ ALDANA, Nelson Leonardo y HERNANDEZ MORA, Johann Alexander. Diseño de controladores para un convertidor flyback, operando en modo interconectado a red, para aplicaciones fotovoltaicas. *Rev.fac.ing.univ. Antioquia [online].* 2012, n.65 [citado 2014-05-23], pp. 16-32. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302012000400002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0120-6230.
10. VARGAS, Francisco; CORREA, Rosa y RAMIREZ, Juan M. OPERACIÓN DESCENTRALIZADA EN GRANDES SISTEMAS DE POTENCIA USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS. *En: Inf. tecnol. [online].* Vol. 25, No. 1 (2014). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000100012&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2014-05-12] ISSN 0718-0764.
11. VILLABLANCA MARTINEZ, Miguel. Medidores del mañana. *En: Ingeniare. Rev. chil. ing., Arica, Vol. 16, No. 3 (2008)* Disponible en <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052008000300001&lng=es&nrm=iso>. [Citado 2013-05-07] DOI: 10.4067/S0718-33052008000300001.