

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

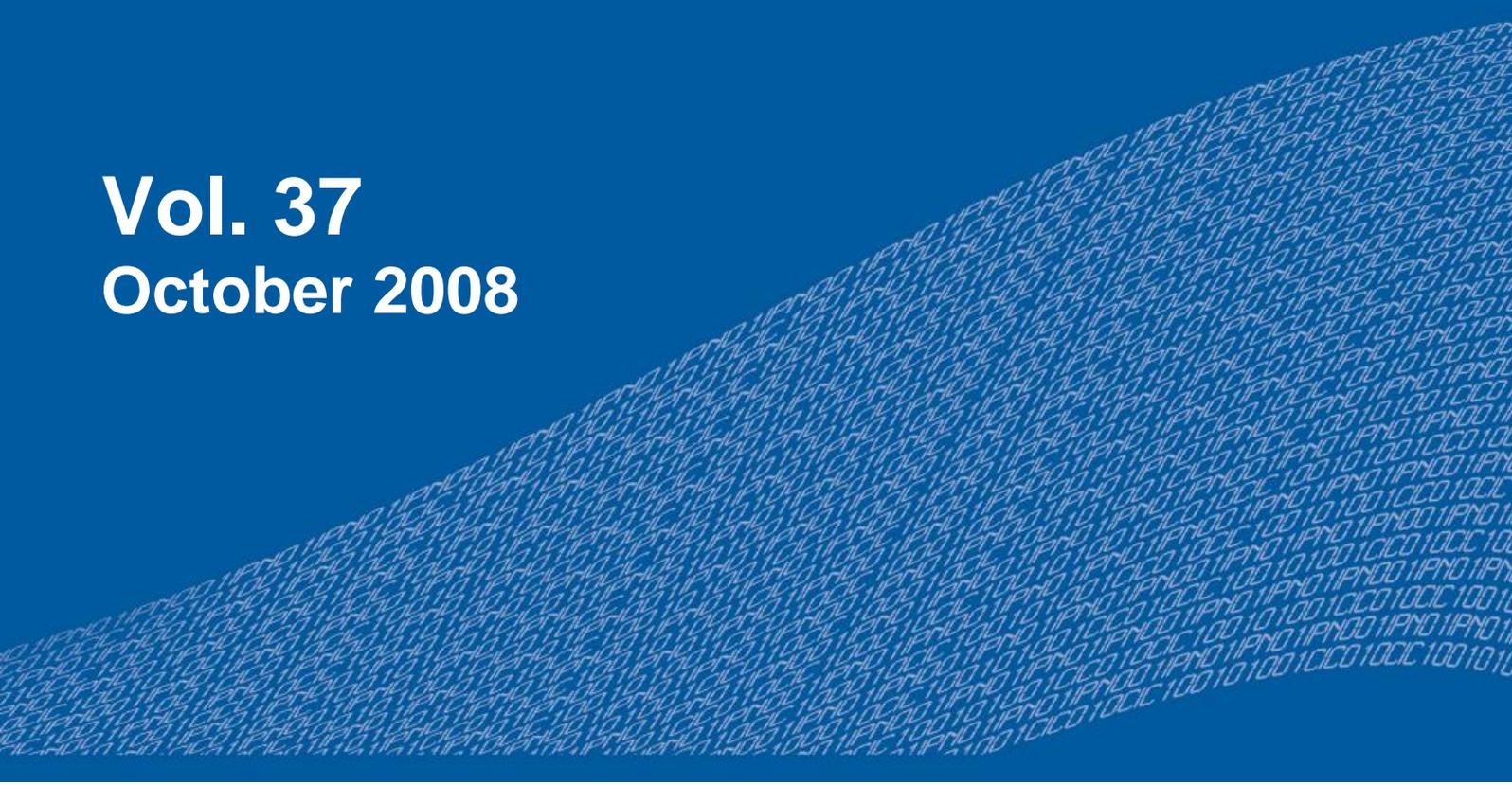


Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Research in Computing Science

ISSN: 1870-4069

Vol. 37
October 2008



Research in Computing Science

Series Editorial Board

Editors-in-Chief:

Grigori Sidorov, CIC-IPN, Mexico
Gerhard X. Ritter, University of Florida, USA
Jean Serra, Ecole des Mines de Paris, France
Ulises Cortés, UPC, Barcelona, Spain

Associate Editors:

Jesús Angulo, Ecole des Mines de Paris, France
Jihad El-Sana, Ben-Gurion Univ. of the Negev, Israel
Alexander Gelbukh, CIC-IPN, Mexico
Ioannis Kakadiaris, University of Houston, USA
Petros Maragos, Nat. Tech. Univ. of Athens, Greece
Julian Padget, University of Bath, UK
Mateo Valero, UPC, Barcelona, Spain

Editorial Coordination:

Blanca Miranda Valencia

Research in Computing Science, Año 7, Volumen 37, octubre de 2008, es una publicación mensual, editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro de Investigación en Computación. Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othon de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738, Ciudad de México, Tel. 57 29 60 00, ext. 56571. <https://www.rcs.cic.ipn.mx>. Editor responsable: Dr. Grigori Sidorov. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2019-082310242100-203. ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Politécnico Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: el Centro de Investigación en Computación, Dr. Grigori Sidorov, Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Esq. Av. Miguel Othon de Mendizábal, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738. Fecha de última modificación 01 de octubre de 2008.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

Research in Computing Science, year 7, Volume 37, October 2008, is published monthly by the Center for Computing Research of IPN.

The opinions expressed by the authors does not necessarily reflect the editor's posture.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of Centre for Computing Research of the IPN.

Advances in Computing Science



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación
México 2008

ISSN: 1870-4069

Copyright © Instituto Politécnico Nacional 2008
Formerly ISSN: 1665-9899

Instituto Politécnico Nacional (IPN)
Centro de Investigación en Computación (CIC)
Av. Juan de Dios Bátiz s/n esq. M. Othón de Mendizábal
Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Zacatenco
07738, México D.F., México

<http://www.rcs.cic.ipn.mx>

<http://www.ipn.mx>

<http://www.cic.ipn.mx>

The editors and the publisher of this journal have made their best effort in preparing this special issue, but make no warranty of any kind, expressed or implied, with regard to the information contained in this volume.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored on a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, including electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior permission of the Instituto Politécnico Nacional, except for personal or classroom use provided that copies bear the full citation notice provided on the first page of each paper.

Indexed in LATINDEX, DBLP and Periodica

Electronic edition

Table of Contents

	Page
Análisis simplificado para la detección de barras rotas en motores de inducción.....	5
<i>M. A. Gómez Martínez, D. Granados Lieberman, A. Medina Flores, M. A. Hernández Figueroa</i>	
Uso de los Puertos GPIB y Ethernet para el procesamiento de Variables Eléctricas	15
<i>Rafael Guzmán-Cabrera</i>	
Antenna prototypes for Indoor and Outdoor Wi-Fi Communication.....	29
<i>M. Tecpoyotl-Torres, J. G. Vera-Dimas, P. Vargas-Chable, J. A. Damián-Morales, M. Torres-Cisneros; J. Sánchez-Mondragón</i>	
Estudio de la generación eólica empleando un generador de inducción.....	33
<i>J. Martínez Patiño, A. Medina Flores, J. G. Banda Navarro</i>	

Análisis simplificado para la detección de barras rotas en motores de inducción

M.A. Gómez Martínez, D. Granados Lieberman,
A. Medina Flores, M.A. Hernández Figueroa

Universidad de Guanajuato,
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica,
México

gomezma@ugto.mx, david.granados@itesi.edu.mx

Resumen. La ruptura de barras en los rotores de los motores de inducción tipo jaula de ardilla es un problema muy común, el cual tradicionalmente se detecta por medio de sensores acoplados directamente en el motor conectado a un complejo sistema de instrumentación. Sin embargo, durante los últimos años se han utilizado nuevas técnicas basadas en las mediciones de corrientes en el estator, que permiten realizar un diagnóstico del motor mientras funciona en condiciones normales de operación, el presente trabajo utiliza una instrumentación básica y el análisis de señales para la detección de este tipo de problemas.

Palabras clave: Barras rotas, motores de inducción.

Simplified Analysis for Detecting Broken Bars in Induction Motors

Abstract. Broken bars in the rotors of squirrel-cage induction motors are a very common problem, traditionally detected by sensors directly attached to the motor and connected to a complex instrumentation system. However, in recent years, new techniques based on stator current measurements have been used, allowing motor diagnostics while operating under normal conditions. This paper uses basic instrumentation and signal analysis to detect this type of problem.

Keywords: Broken bars, induction motors.

1. Introducción

Los motores asíncronos son máquinas rotativas de flujo variable y sin colector. El campo inductor está generado por corriente alterna. Generalmente, el campo inductor está en el estator y el campo inducido en el rotor, cuando este rotor está entre dos polos de campo electromagnéticos que han sido magnetizados por una corriente alterna, se induce una fuerza electromotriz (fem) en las espiras de la jaula de ardilla, una corriente

muy grande las recorre y se produce un fuerte campo que contrarresta al que ha producido la corriente (ley de Lenz) [1].

El rotor no puede girar a la velocidad del campo magnético generado en el estator del motor (velocidad de sincronismo), ya que en este caso no existiría ningún desplazamiento relativo de las espiras del rotor con relación a los polos del estator, por lo tanto, la fem. inducida sería cero y no existiría una corriente circulante en el rotor y por tanto tampoco una fuerza electromagnética.

Se denomina deslizamiento a la diferencia de velocidad entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor:

$$n_{des} = n_{sin} - n_m, \quad (1)$$

donde:

n_{des} = Velocidad de deslizamiento,

n_{sin} = Velocidad sincronizada,

n_m = Velocidad del eje del motor.

Expresada en porcentaje:

$$\%n_{des} = \frac{n_{sin} - n_m}{n_{sin}} 100\%. \quad (2)$$

2. Barras rotas en el rotor

Las causas de rupturas de barras en motores tipo jaula de ardilla pueden deberse a un mal diseño en la construcción del rotor. La mayoría de las rupturas de barras ocurren en la unión entre la barra del rotor y los anillos de cortocircuito, y son debido a esfuerzos o expansión térmica del anillo de cortocircuito, principalmente durante el arranque, además de vibraciones en el motor, desbalanceo del rotor o desalineación entre la carga.

Este tipo de falla produce variaciones en el campo magnético del motor que se traduce en la aparición de dos series de armónicos de campo giratorios los cuales inducen fuerzas magnetomotrices, que finalmente dan lugar a la aparición de armónicos en la corriente de alimentación del motor. Dichas corrientes se presentan como componentes espectrales en las corrientes del estator a frecuencias descritas por la ecuación (3):

$$f_{brb} = f_1 \left[\left(\frac{k}{p} (1-s) \right) \pm s \right], \quad (3)$$

donde:

f_{brb} = Componentes debidas a barras rotas en el rotor,

f_1 = Frecuencia de la red de alimentación,

$\frac{k}{p}$ = 1, 3, 5, etc.,

p = Pares de polos ,

s = Deslizamiento .

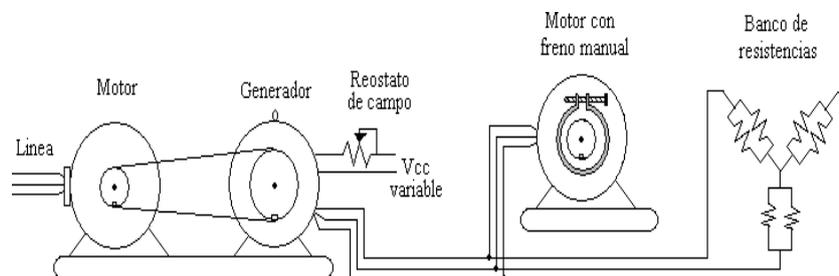


Fig.1. Montaje para la carga mecánica del motor.

La valoración de la magnitud de la falla se hace teniendo en cuenta las primeras componentes armónicas ($k/p = 1$) las cuales forman bandas laterales de la frecuencia fundamental, las cuales están descritas para las bandas laterales superior e inferior respectivamente tal y como lo muestra la ecuación (4):

$$f_{brb} = f_1(1 \pm 2s). \quad (4)$$

Aunque el motor esté en perfecto estado, estos armónicos están siempre presentes en la corriente de la máquina, debido a las asimetrías del rotor inherentes al proceso de fabricación y ensamblado. Por lo tanto, el método consiste más que en detectar la presencia de los armónicos, en monitorear su amplitud y comparar cuando exceda de un cierto umbral en referencia a la componente de la frecuencia de alimentación.

Esta técnica se denomina Análisis de la Corriente del Estator (MCSA, - Motor Current Signature Analysis-por sus siglas en inglés) [2,3], centrándose en el análisis espectral de las corrientes de estator.

El MCSA se emplea con éxito en los casos en los que el par de carga es constante. Sin embargo, en máquinas donde existen cargas variantes, surgen dificultades, tales como la aparición de otros inter-armónicos debidos al par no constante y a reductores de velocidad.

3. Diseño del experimento

El desarrollo práctico para la realización del proyecto se realizó en el laboratorio, contando con un motor de inducción Jaula de ardilla de 7.5 Hp y 2 polos.

La carga mecánica que se necesita para poder llevar el motor desde un estado en vacío hasta un factor de servicio de 1.15 veces la corriente nominal del motor se realizó mediante una banda acoplada a un generador síncrono, el cual alimenta a un banco de resistencias y un motor de ca. que cuenta con un freno mecánico.

La figura 1 muestra el esquema de conexiones.

El análisis del motor es en estado estable, pero para realizar un estudio más completo se realizó la captura de la corriente del motor desde el transitorio de arranque. Para lo cual se realizó un arreglo que permite sincronizar el momento de captura de la forma de onda de la corriente del motor y el momento de arranque del mismo.

Uno de los parámetros para la localización exacta de la frecuencia de interés es la velocidad del motor como lo indican las ecuaciones (3) y (4), de esta manera se pueden



Fig. 2. Dispositivo de medición para la velocidad.

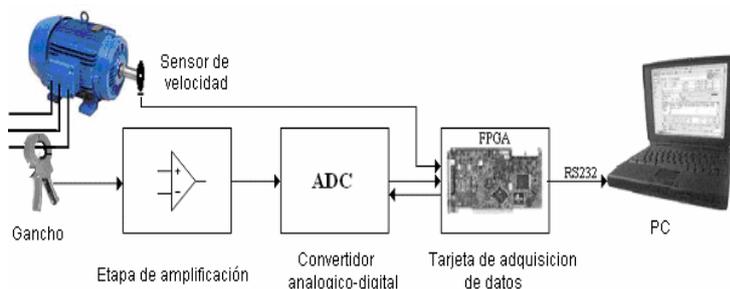


Fig. 3. Sistema de adquisición de datos.

determinar a qué frecuencias se encuentran los inter armónicos de interés, corroborando lo establecido teóricamente.

El encoder que se montó posee 180 ranuras (odivisiones claras) y se fijó a la flecha del motor, mientras que el sensor se fijó mediante una estructura a la carcasa del motor. La figura 2 muestra una fotografía del montaje descrito.

El valor de la velocidad del motor lo realiza una tarjeta la cual utiliza un FPGA (Field Programmable GateArray, por sus siglas en ingles), el cual realiza el conteo de los pulsos por segundo y los exhibe en la pantalla del display de forma hexadecimal, de forma que realizando las conversiones convenientes se determinala velocidad de giro del rotor.

4. Sistema de adquisición de datos

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo de las etapas de adquisición de datos implementadas en el sensado de la corriente del motor.

Para la realización de esta etapa se utilizó una tarjeta, lacual posee un FPGA que se programa, permitiéndonos flexibilidad para la selección del número de datos adquiridos y la frecuencia de muestreo, para este casoen particular se utilizaron 8192 muestras en un rango de 1.2 KHz, siendo este valor múltiplo de la frecuencia fundamental (60Hz), lo que nos disminuye el chorreo dela señal. Además, la tarjeta controla la interfase RS232 para la comunicación entre el sistema de adquisición de datos y la computadora.

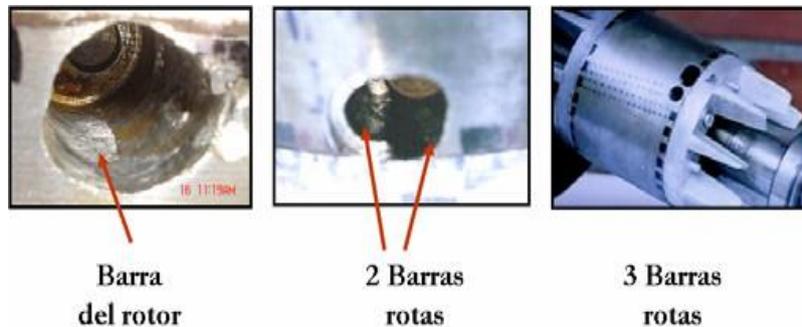


Fig.4. Perforaciones realizadas para la ruptura de barras en el rotor.

Tabla 1. Valores de la amplitud de la fundamental y los interarmónicos.

Estado del motor	Amplitud fund.(db)	Amp. int.arm a (db)	Amp. int.arm (db)
Buen estado	154.51	78.3	67.43
Una barrarota	198.19	106.79	104.66
Dos barras rotas	202.35	119.62	118
Tres barras rotas	207.87	127.36	127.22

La captura de la forma de onda de la corriente del motor procesada en Matlab, de esta manera podemos ver la forma de onda original y con la función *fft* (transformada rápida de Fourier, por sus siglas en inglés) de Matlab se obtiene la descomposición en armónicos de la señal.

También con la ayuda de Matlab, se realizó un pequeño programa con el que podemos hacer referencia sobre los cálculos teóricos, realizando marcas a las frecuencias señaladas con las ecuaciones 3 y 4, sobre la gráfica del espectro de la señal.

5. Caracterización del motor con barras rotas

Para poder caracterizar el motor en condiciones de barras rotas, identificamos la localización de cada barra con la ayuda de un Growler para poder realizar las perforaciones, para esto realizamos el método del zumbador, obteniendo la posición exacta de cada barra y el número de barras del motor, las cuales para este caso son 31 barras con un diámetro aproximado de 1/4 in. La figura 4 muestra las perforaciones realizadas en el rotor.

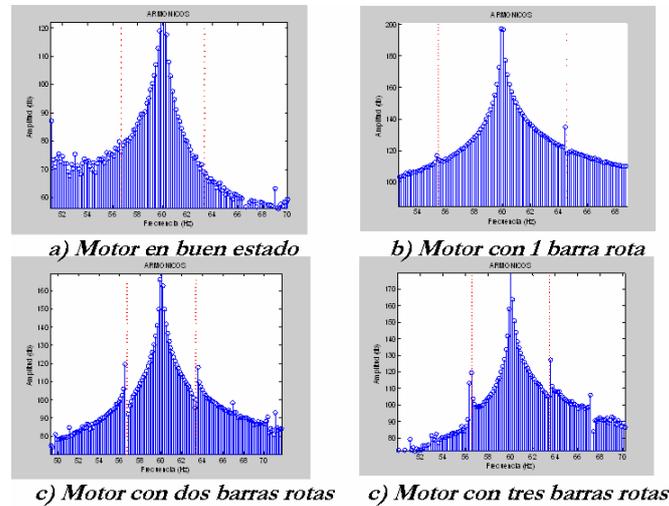


Fig. 6. Resultados obtenidos alrededor de la frecuencia fundamental.

6. Análisis de resultados

Las pruebas realizadas en el laboratorio, se realizaron a diferentes valores de carga mecánica, de forma que incrementara la corriente en el estator, pero debido a que la presencia de los inter-armónicos de interés son dependientes del deslizamiento del motor, esto es, cuando la carga es mínima casi no existe deslizamiento, presentándose los inter-armónicos muy cerca de la frecuencia fundamental ocasionando que esta los enmascare, pero a mayor demanda de corriente del motor, los inter-armónicos se muestran más alejados de la frecuencia fundamental. Es por eso que para el análisis nos enfocamos en las pruebas realizadas a 21 Amp. (corriente nominal del motor).

Con las gráficas obtenidas durante las pruebas, podemos conocer la magnitud tanto de la frecuencia fundamental como la de los inter-armónicos, los cuales se muestran en la tabla para la cual se hizo un estimado entre todas las pruebas realizadas a 21 Amp.

Una vez capturas las diferentes formas de onda correspondientes a las condiciones del motor en buen estado y con barras rotas. Se realiza una referencia para las características del tipo de motor utilizado como se ilustra en la figura 5, esto es, tomamos la magnitud de la potencia en decibeles de la componente fundamental de la señal para compararla con la de los inter-armónicos por medio de la ecuación (5):

$$\%dif = \frac{Amp. fund - Amp. inter arm \times 100\%}{Amp. De la fundamental} \quad (5)$$

Existen dos razones fundamentales para realizar esto, la primera es que, aunque idealmente la forma de onda sea una señal perfectamente senoidal, existe la presencia de los inter-armónicos de interés, debido a imperfecciones en la construcción del motor, condiciones de la carga y la presencia de otros fenómenos que originan ruido en la

Tabla 2. Resultados del análisis del motor.

Estado del motor	Relación inter armónico lateral izq.	Relación inter armónico lateral der.
Buen estado.	49.32 %	56.36 %
1 barra rota	46.12 %	47.19 %
2 barras rotas	40.88 %	41.69 %
3 barras rotas	38.73 %	38.80 %

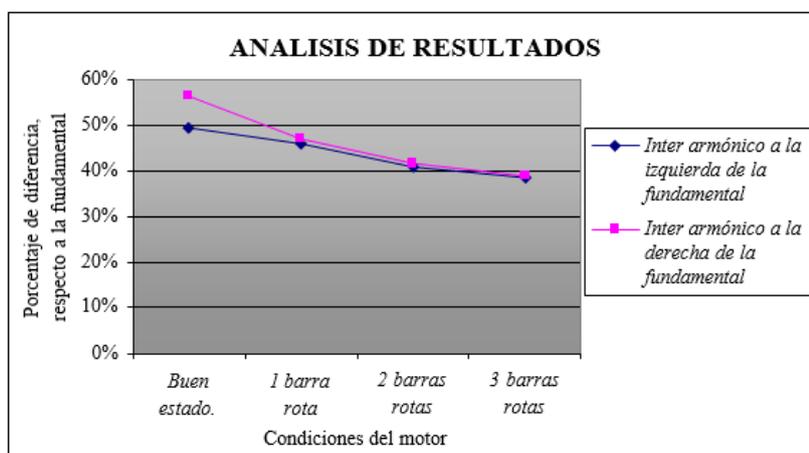


Fig. 7. Grafica de los resultados obtenidos.

señal. La segunda razón es ocasionada al utilizar la transformada de Fourier, la cual realiza una aproximación por sumatorias a determinados valores, pero cuando no coincide este valor con uno real de la señal, se genera un efecto de chorreamiento que compensa este valor de forma gradual a los extremos del mismo, lo que ocasiona que exista un valor a la frecuencia de interés.

Por otra parte, es necesario un filtrado de la señal que discrimine frecuencias indeseables para mantener una mejor pureza de la señal, ya que principalmente los inter armónicos cerca del 5° y 7° armónico se ven contaminados, además de poseer una amplitud mucho menor que dificulta su análisis. Es por eso que se concentra nuestro estudio alrededor de la frecuencia fundamental.

Un acercamiento alrededor de los 60 Hz se muestra en la figura 6.

Las gráficas de los resultados obtenidos en la ruptura de barras en el rotor muestran el incremento de la amplitud de los armónicos en dB, observando que dicho aumento es mayor entre más barras rotas existan en el rotor.

Corroborando esto de manera numérica y tomando las consideraciones mencionadas, se muestra la siguiente tabla, la cual como se mencionó muestra la relación existente entre la fundamental y los inter-armónicos en porcentaje:

Los valores de la tabla anterior, de manera gráfica se muestran en la figura 7.

Tabla 3. Valores del estado transitorio bajo condiciones de barras rotas.

Estado del motor	Amplitud máxima (A)	Tiempo (s)
Bueno	200	0.86
1 barra rota	183	1.05
2 barras rotas	168	1.16
3 barras rotas	160	1.28

En la figura 7 vemos una disminución del porcentaje de diferencia entre la amplitud de la frecuencia fundamental y los inter armónicos a los lados de la misma, lo que equivale a un aumento de la amplitud de dichos inter armónicos a medida que existen problemas de barras rotas en el rotor, lo cual confirma lo expuesto en la parte teórica.

Otro de los fenómenos observados durante presente trabajo es una disminución de la corriente de arranque en presencia de barras rotas, y un aumento en el tiempo de duración del estado transitorio, la tabla 3 muestra los resultados obtenidos. Además, con la presencia de barras rotas en el rotor se manifestó un incremento en las vibraciones y variaciones en la magnitud de corriente rms equivalentes a fluctuaciones de la forma de onda, las cuales son debidas además por la excentricidad del rotor generada por las perforaciones realizadas.

7. Conclusiones

La des-uniformidad del flujo del estator debido a las barras rotas se ve reflejada en la distorsión de la forma de onda de la corriente en el estator, lo cual es un incremento de armónicos en la corriente

De las mediciones realizadas se comprobó la aparición de componentes armónicas en la corriente del estator y la existencia de barras rotas en la jaula de ardilla del rotor, del motor bajo prueba.

Pudiéndose implementar un método simple de medición a través de un transformador de corriente tipo gancho, una tarjeta de adquisición de datos tipo comercial, y el uso de una computadora portátil (laptop), ejecutando un programa de uso comercial (Matlab), lo que permite su empleo en cualquier industria, con un mínimo de costo de inversión. Ya que esta técnica en la actualidad es muy utilizada dentro de compañías eléctricas que ofrecen sus servicios a las empresas, pero que desafortunadamente no son factibles económicamente.

El monitoreo en línea que se realiza para conocer las condiciones del motor, proporciona además a los sistemas que lo utilizan la confianza necesaria para determinar si existe un problema en alguna parte específica del motor, lo que equivale a ahorrar tiempo a los encargados de los sistemas y no verse sometidos a la presión de realizar la detención de los procesos de manera errada, o en su defecto planear el paro oportuno del equipo en tiempos que no afecten a su producción y al mismo tiempo no se ocasione un efecto en cadena reflejado en fallas más severas.

Quedo evidenciado que puede emplearse este sistema de medición para buscar otras áreas de aplicación, como es la detección de anomalías mecánicas como desalineamiento, desbalanceo, vibraciones de la carga impulsada, etc.

También es área de mejora, la aplicación de otros métodos de manipulación de la información obtenida, ya que la transformada rápida de Fourier, no es la herramienta más idónea. El utilizar métodos alternativos como la transformada Wavelet, ventaneado y periodogramas [4], ayudaría a un mejor procesamiento de la señal, realizando la transformación de la señal en frecuencia disminuyendo el chorreo y haciendo de esta técnica más precisa. Además de implementar filtros que eliminen frecuencias indeseables en el sistema.

Referencias

1. Nagwa, M. E., Anthony, R. E.: Detection of Broken Bars in the Cage Rotor on an Induction Machine. IEEE transactions on industry applications, 28 (1992)
2. Von Konigslow, A.: Teoría, cálculo y construcción de las máquinas de corriente alterna asíncronas. Editorial Labor, S.A. (1973)
3. William, T., Mark, F.: Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults. IEEE Industry Applications Magazine (2001)

Uso de los puertos GPIB y Ethernet para el procesamiento de variables eléctricas

Rafael Guzmán-Cabrera

Universidad de Guanajuato,
Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica,
México

guzmanc@salamanca.ugto.mx

Resumen. La adquisición, medición y manipulación de variables eléctricas nos permite tener control sobre el funcionamiento de un sistema. Dada la propagación e impacto que han tenido en prácticamente todos los sectores de la sociedad el uso de las redes de computadoras personales es sin duda importante incorporar estos recursos en la realización de mediciones de variables eléctricas. En este trabajo se presenta una metodología que permite medir variables eléctricas por medio de los puertos GPIB (General Purpose Interface Bus) y ethernet. Por medio de estos puertos se lleva a cabo la adquisición y manipulación de datos a distancia obtenidos de equipos de prueba, medición y control. El control de los equipos se lleva mediante una PC.

Palabras clave: Puertos GPIB, Ethernet, variables eléctricas.

Using GPIB and Ethernet Ports for Processing Electrical Variables

Abstract. The acquisition, measurement, and manipulation of electrical variables allows us to control the operation of a system. Given the spread and impact that the use of personal computer networks has had on virtually all sectors of society, it is undoubtedly important to incorporate these resources into the measurement of electrical variables. This paper presents a methodology that allows measuring electrical variables through GPIB (General Purpose Interface Bus) and Ethernet ports. These ports are used to acquire and manipulate remote data obtained from test, measurement, and control equipment. The equipment is controlled by a PC.

Keywords: GPIB ports, Ethernet, electrical variables.

1. Introducción

Medir significa comparar una magnitud de valor desconocido con una determinada unidad de medida previamente elegida. El proceso de medición generalmente requiere el uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable. Los instrumentos constituyen una extensión de las facultades humanas y en

muchos casos permiten a las personas determinar el valor de una cantidad desconocida la cual no podría medirse utilizando únicamente las facultades sensoriales. El instrumento virtual, sensa las señales de voltaje y corriente del sistema, para ser llevadas a la PC a través de un puerto o una tarjeta de adquisición de datos. La importancia de realizar la medición de energía eléctrica, estriba en el hecho de que esta no se puede almacenar, por lo que se hace necesario tener una medición exacta en los consumos de energía.

De acuerdo a las necesidades y cantidad de energía medida, será el tipo y modelo de medidor que se requiere.

Algunas técnicas para minimizar los efectos de los errores:

- 1.- Realizar una serie de ensayos y no confiar en una sola observación.
- 2.- Alternar el uso de diferentes instrumentos de medición en el mismo experimento.

Al utilizar una PC como elemento de medición se pueden llevar a cabo varias lecturas en un periodo muy corto de tiempo con lo cual se tendría una certeza mayor de estar realizando la medición correcta, aunado a que se pueden llevar a cabo la medición de variables eléctricas diferentes, que de otra manera implicaría el uso de instrumentos de medición distintos.

Las comunicaciones inalámbricas (wireless), el acceso a la comunicación vía satélite, junto con el internet y las redes locales actualmente se han fusionado para crear sorprendentes estructuras de trabajo y servicios. La ingeniería eléctrica no se queda atrás en la aplicación y el aprovechamiento de estos recursos, así por ejemplo, actualmente encontramos grandes sistemas de monitoreo y control; en puntos estratégicos de la red de servicio eléctrico en diferentes partes de la Republica son colocados equipos de medición y control que son capaces de almacenar, transmitir y recibir información al instante controlados vía satélite, teniendo el acceso y control desde centrales ubicadas a cientos de kilómetros.

En la figura 1 se muestra en sistema propuesto para el desarrollo del presente trabajo. Podemos observar en esta figura que con el osciloscopio existen principalmente dos maneras de realizar la medición a distancia, la que mostraremos primero es la que utiliza el puerto GPIB y la segunda manera es utilizando la tarjeta de red, si bien es cierto que estos dos puertos de comunicación son completamente diferentes, se pueden realizar tareas similares con ellos, por lo que la comparativa que se pudiera hacer entre sus ventajas y desventajas solo se enfocara en la aplicación en uso, esto es, por ejemplo el puerto GPIB esta diseñado para ser usado a la vez junto con otros equipos de prueba y medición, pero los cables de medición no deben de exceder de veinte metros, mientras que si utilizamos la tarjeta de red, no se tiene limitada distancia. En el caso del uso de la tarjeta de red se tiene la limitante de no poder interactuar entre varios equipos de medición de manera simultanea.

El resto del artículo esta organizado de la siguiente manera: en las secciones II y III se muestran las generalidades y descripción de los sistemas GPIB y ETHERNET respectivamente. En la sección IV se habla acerca del comportamiento del sistema, en la sección V de los resultados obtenidos y terminamos con la sección VI referente a las conclusiones y trabajos futuros.

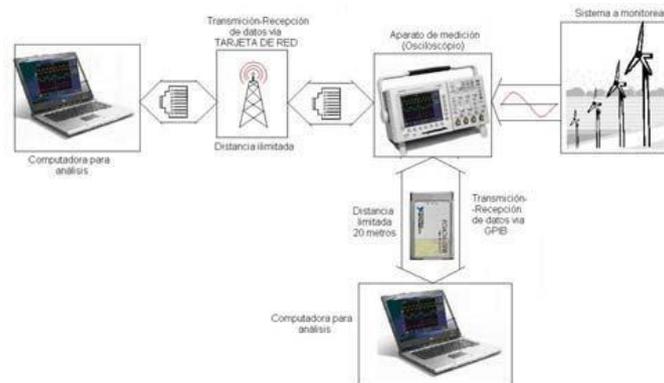


Fig. 1. Diagrama de medición a distancia.

2. Generalidades y descripción del sistema GPIB

Los fabricantes de equipos de prueba y medición buscan cumplir al cien por ciento con los estándares de calidad y ofrecer siempre algo nuevo al usuario, uno de los estándares incluidos en dichos equipos es el estándar IEEE 488 o GPIB. El osciloscopio Tektronix TDS3034B entre sus múltiples accesorios cuenta con un puerto de expansión, el cual permite que se le puedan conectar diversos accesorios, uno de ellos es el puerto IEEE 488.

GPIB es un estándar de conexión que permite la comunicación de una computadora con instrumentos electrónicos de medida, como pueden ser generadores de funciones, osciloscopios, etc. A pesar de este nombre, fue diseñado específicamente para la conexión de instrumentos de medida. Fue creado en 1965 por la compañía Hewlett-Packard, y se popularizó con rapidez, debido a sus altas tasas de transferencia de datos (8 Mbytes/s). Para evitar la dispersión de características, los principales fabricantes acordaron la estandarización del GPIB en 1975 (IEEE 488.1), centrándose en las características eléctricas y mecánicas del bus. Una segunda estandarización (IEEE 488.2 de 1987) delimitó de forma más concreta la programación del GPIB, definiendo comandos de aparatos, formato de mensajes y estado de los instrumentos. El siguiente paso de importancia fue la adopción del formato de comandos SCPI (Comandos Estándar para Instrumentos Programables), que estructura las órdenes a los aparatos de forma coherente, permitiendo (hasta cierto punto), la sustitución de instrumentos de distintos fabricantes con mínimos cambios.

Un sistema GPIB consiste en una serie de instrumentos de medida conectados a un bus, y controlados, normalmente, por una PC dotada de una tarjeta GPIB. Existe bastante libertad en la configuración topológica del bus, que, en general, es una combinación de disposiciones lineales y en estrella, como se muestra en la figura 2.

El dispositivo controlador gestiona el flujo de datos y comandos a los diferentes elementos del sistema. Puede haber un máximo de 15 dispositivos conectados al bus, y al menos dos tercios de ellos deben estar encendidos, La separación máxima entre dos dispositivos es 4 m, y la separación promedio en toda la red debe ser menor de 2 m. La

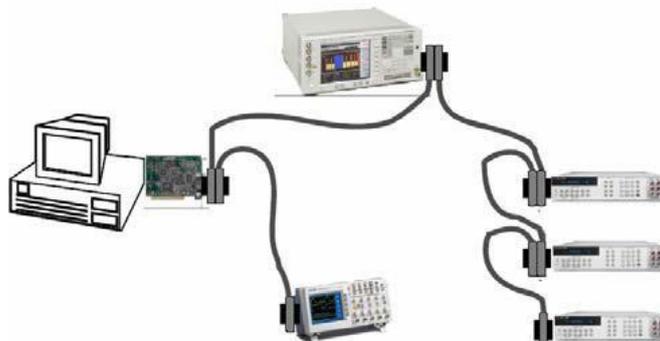


Fig. 2. Ejemplo de conexión de un sistema GPIB.

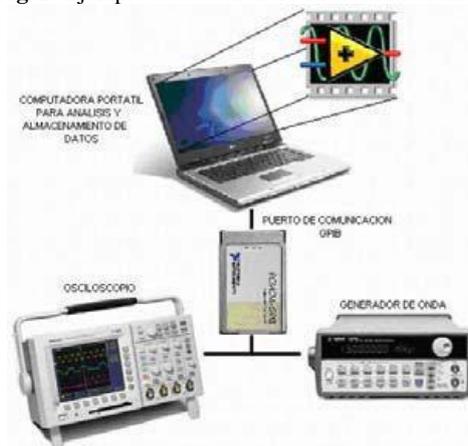


Fig. 3. Diagrama del sistema implementado usando la interfaz GPIB

longitud total de la red no debe1 exceder los 20 m. El control de los instrumentos puede realizarse bajo cualquier lenguaje de programación tale como: C, C++, Visual Basic, LabView y Matlab entre otros. Cada instrumento GPIB posee un manual de programación en el que se explican los diferentes comandos que puede utilizar el aparato. Aparte de poder usar los lenguajes de programación antes mencionados para el control de las tarjetas GPIB, cada fabricante de los equipos que tiene integrado este puerto, pone a la venta software que es completamente de ambiente grafico y con una interfaz bastante entendible por cualquier usuario aparte de poder controlar completamente el instrumento facilitando la comunicación entre los instrumentos interconectados.

Utilizar solo un instrumento de medida para mostrar los alcances del puerto GPIB sería poco ilustrativo, es por eso que se decide utilizar un generador de onda para generar una señal aleatoria, esta señal estaría simulando la lectura de el voltaje o la corriente de un sistema real, mostrarla en el osciloscopio y adquirir y almacenar los datos en una computadora personal. Para realizar el control de los instrumentos y poder hacer un análisis de los datos obtenidos. Para la programación y el control de este puerto

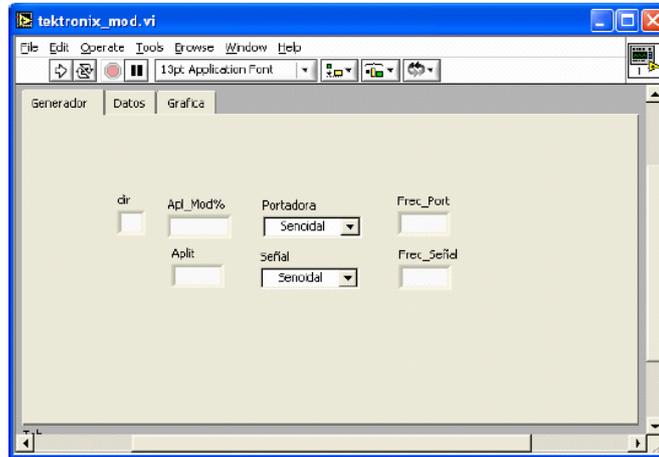


Fig. 4. Ventana para la configuración del generador de onda.

se utilizó LabVIEW, este software es una potente herramienta en cuanto a instrumentación virtual, con la ventaja de usar programación gráfica, en lugar de programar código.

En la figura 3 podemos observar el sistema utilizando la interfaz por medio del GPIB. El generador de señales se programa para generar una señal tipo seno, la cual será la portadora, a 60 Hz y otras desde 0.1 hasta 30 Hz, esto se hace para mostrar solo algunas de las funciones que se pueden controlar con el GPIB automáticamente utilizando el LabVIEW.

Obsérvese en la figura 4 se muestra la configuración del generador, en el primer cuadro de texto se pone la dirección GPIB del generador, en el segundo se introduce el porcentaje en amplitud de la amplitud de la señal (ej. 35 % de 1 V es 350 mV de amplitud de la portadora), se selecciona el tipo de señal de la portadora (Senoidal, Cuadrada, Triangular y Rampa) y la frecuencia de la portadora. En el segundo renglón se introduce la amplitud de la señal moduladora, el tipo de la señal y su frecuencia.

3. Generalidades y descripción del sistema ethernet

Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Aunque se trató originalmente de un diseño propietario de Xerox, ésta tecnología fue estandarizada por la especificación IEEE 802.3, que define la forma en que los puestos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionada para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. Actualmente Ethernet es el estándar más utilizado en redes locales/LANs.

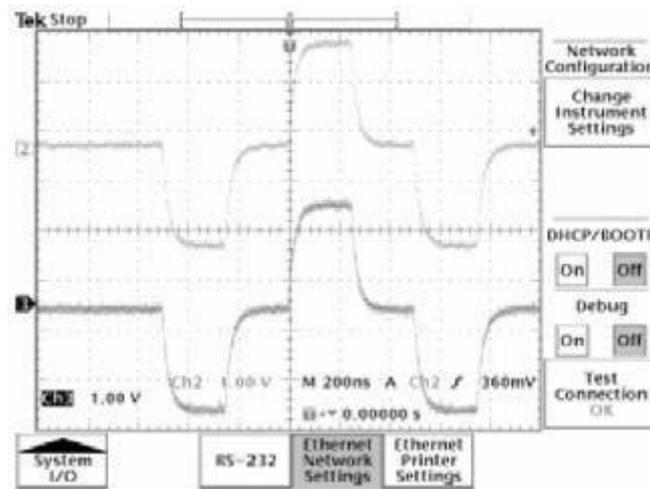


Fig. 5. Menú donde se localiza la pantalla para configurar la red de Ethernet

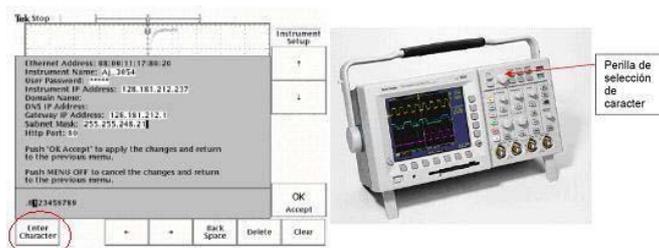


Fig. 6. Parámetros de red y perilla de selección de carácter.

El osciloscopio TEKTRONIX TDS3034B tiene la capacidad de guardar datos en distintas formas los cuales pueden ser obtenidos de manera serial, en un archivo y por la red ethernet. Si se desea obtener los datos por ethernet, antes se tiene que configurar el osciloscopio para que éste funcione como un pequeño servidor web que permita que los usuarios se conecten y adquieran los datos a través de su navegador de internet. Para habilitar la transferencia de datos por ethernet se tiene que acceder al submenú system I/O (entrada, salida) en menú de utilerías. Y seleccionar la configuración de red de ethernet (Ethernet network settings) como se muestra en la figura 6.

Una vez seleccionada la configuración de redes ethernet, se procede a acceder a la configuración de la red, presionando el botón del comando “Change Instruments settings” y una nueva pantalla se desplegará mostrando los parámetros de la red. La mayoría de estos parámetros se pueden modificar, para navegar entre ellos, se utilizan las flechas que aparecen a la derecha de la pantalla. Para cambiar una letra o un número, se utiliza la perilla superior del osciloscopio (figura 6) para navegar entre las letras o números y se presiona “enter carácter”.

En realidad estos comandos se modifican solo en caso de que exista la necesidad de configurar el osciloscopio para una red especial. En la mayoría de los casos, la conexión a ethernet funciona con los valores que por omisión tiene el osciloscopio. Una vez que

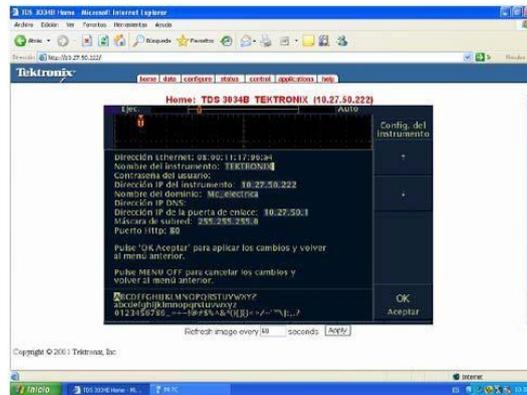


Fig. 7. Ventana principal de e*scope[6].



Fig. 8. Sistema de monitoreo y control utilizando ethernet.

se conecta el cable de red a la entrada del osciloscopio, se puede presionar “Test Connection” y verificarsi el osciloscopio puede acceder a la red. Si el botón muestra la palabra “OK” ya no es necesario hacer otro ajuste. En caso de que el osciloscopio muestre el mensaje “No response” se puede intentar modificar el parámetro DHCP/BOOT y volverlo a intentar. Una vez conectado el cable de red en el osciloscopio, y que la prueba de conexión resulta cierta, sóloes necesario abrir cualquier navegador de internet y escribir enla casilla de dirección, la dirección IP del instrumento. No se debe añadir WWW. El osciloscopio cuenta con un pequeño servidor llamado e*Scope que se encarga de transmitir en html los datos que adquiere del osciloscopio.

Dentro de este trabajo, lo que pretendemos es precisamente adquirir los datos del osciloscopio de una manera remota, con una distancia superior a 20 m que es el límite máximo si se utiliza el GPIB, donde no sea necesario la presencia de alguna persona en el área de medición más que solo en el momento derealizar las conexiones, utilizando el e*scope se tomará lectura del consumo de la corriente y el voltaje de una computadora,se decide esto ya que actualmente casi cualquier instrumento, maquina, controlador, etc., en un sistema de producción o en una industria, utiliza microprocesadores y lógica digital paraun mejor funcionamiento, si junto con esta razón consideramosque es fácil conseguir una computadora portátil, queda claro élpor qué se decide la implementación del presente Sistema.

Como se puede observar en la figura 8, se tiene una computadora funcionando, esto para simular algún equipo que este en operación dentro de una industria, se realiza la conexión de tal manera que podamos censar con el osciloscopio TDS3034B la corriente

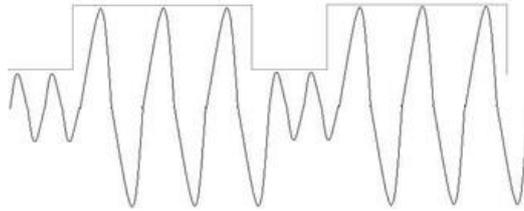


Fig. 9. Señal a montar en el generador de onda

que esta consumiendo la computadora en ese instante, se configura el osciloscopio para que funcione su interfaz de ethernet, una vez configurado se obtiene el numero IP que servirá para acceder al monitoreo y control del osciloscopio desde cualquier nodo que pertenezca a la misma red de ethernet

4. Comportamiento del sistema

Una vez implementado el sistema de la figura 3, hay que realizar varias pruebas para verificar que efectivamente los datos adquiridos mediante el software son realmente los datos que estamos observando en el osciloscopio y que el generador de onda responde correctamente a las instrucciones enviadas desde el software, por lo que es necesario estar presentes en el área donde se encuentran los instrumentos mientras se realizan estas recomendaciones, una vez montado el sistema, lo que prosigue es pues el control del generador de onda y del osciloscopio desde la computadora portátil, esto se logra utilizando el programa desarrollado en LabVIEW® propuesto en la sección II. Para probar nuestro sistema, montaremos en el generador de funciones la señal que se muestra en la figura 9, como se observa es una señal senoidal que tiene como portadora a una señal cuadrada.

De acuerdo a la figura 5, lo primero es configurar el generador de onda para que envíe al osciloscopio la señal deseada. En el primer cuadro de texto se pone la dirección GPIB del generador, que se ha designado anteriormente con el número 32. En el segundo campo se introduce el porcentaje en amplitud de la amplitud de la señal (35 % de 1 V es 350 mV de amplitud de la portadora), se selecciona el tipo de señal de la portadora, en este caso “Cuadrada” y la frecuencia de la portadora que fijaremos con 10 Hz. En el segundo renglón se introduce la amplitud de la señal moduladora como ya se dijo será de 1 v, el tipo de la señal es senoidal y su frecuencia será de 60 Hz.

Se eligió realizar esta aplicación para apreciar mejor los alcances que tiene el puerto GPIB, sin embargo se puede realizar la aplicación que se desee, siempre y cuando los instrumentos de control y medida estén equipados para dicho fin. Con la ventaja de estar clasificados de acuerdo a la fecha y número de muestra, capturados ya los datos y una vez almacenados en formato.xls no queda más que darle el uso que más convenga al usuario, en la figura 10 se grafican dichos datos solo para corroborar que realmente los datos coinciden con los resultados esperados.

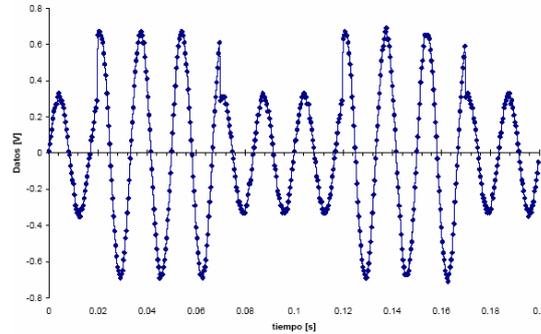


Fig. 10. Señal Modulada con portadora cuadrada a 10 Hz y señal de 60 Hz.



Fig. 11. sistema de medición implementado

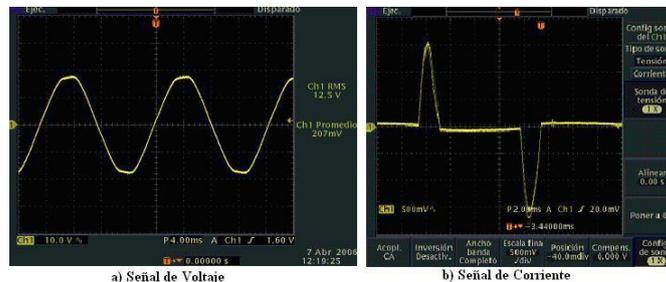


Fig. 12. Formas de onda del voltaje y corriente capturadas desde el e*scope.

Resulta extremadamente notoria la facilidad con que se pueden adquirir los datos del osciloscopio TDS3034B utilizando tarjeta de red y el servidor e*scope. Una vez teniendo la certeza que tanto la red como el osciloscopio están trabajando correctamente, se implementa el sistema, que consiste en tomar la lectura de la corriente consumida por una computadora portátil que se encuentra en funcionamiento, esto simulara algún equipo cuyo funcionamiento se base en sistemas digitales y se le requiera hacer un estudio eléctrico. La computadora que se va a monitorear se encuentra en el mismo sitio que el osciloscopio, el osciloscopio lo conecta a la red

Irms =	P =	D =	FDist =
0.3191	10.0966	33.2256	0.5801
Vrms =	Q1 =	FP =	THDi =
127.3656	21.1269	0.2484	140.4233
S =	D =	FDesp =	THDv =
40.6476	33.2256	0.4433	2.8435

Fig. 13. Resultados arrojados por el programa llamado “estimador de armónicos”.

ethernet y la computadora con la que se controlara a losciscopio se encuentra a una distancia aproximada de 50 m, conectada a un nodo perteneciente a la misma red ethernet a la que se conectó el osciloscopio, esto lo podemos observar en la figura 11.

Desde la computadora portátil mediante el e*scope se capturaron las formas de onda, con sus respectivos vectores de valores correspondientes a la corriente y al voltaje consumidos por la computadora que se está monitoreando, en la figura 12 se muestra el voltaje y la forma de onda de la corriente.

5. Resultados

Es necesario ser un experto en el área de análisis de señales eléctricas para poder determinar un diagnóstico con tan solo observar la señal, es por eso que existen herramientas matemáticas que nos ayudan a realizar un análisis detallado de las señales en este caso eléctricas, y con este análisis poder hacer una correcta interpretación de la señal, en el trabajo de tesis “Estimación y simulación de armónicos utilizando el programa Matlab” se desarrolla un potente programa para realizar la estimación de armónicos presentes en una señal y el cálculo de las principales variables eléctricas presentes en un sistema. El programa solo necesita las funciones discretas de corriente y voltaje junto con el número de muestras para poder calcular [7]: Contenido armónico de ambas señales, forma de onda de las señales, Vrms, Irms, S, P, Q1, D, FP, THDv y THDi. Por lo que se ajusta perfectamente para ser utilizado con los datos que se adquieren en el presente trabajo.

Consideremos pues los datos obtenidos en la sección IV-B, figuras 12-a) y 12-b), El programa necesita los valores de las muestras contenidas en un ciclo, esto nos arrojó 834 muestras, se cuenta entonces con los datos necesarios para que el programa haga su trabajo, cargamos los vectores en el programa junto con el número de muestras y obtenemos los resultados mostrados en la figura 13. junto con la información contenida en la figura 13, el programa nos despliega las gráficas de las señales y su contenido armónico, mismas que se muestran en la figura 14. En la figura 12 a) en la forma de onda de voltaje se aprecia una pequeña distorsión de la onda fundamental. Con el estimador de armónicos, en la figura 14 en la gráfica de armónicos de voltaje se observa la componente fundamental y dos aportaciones más de la tercera y quinta armónica.

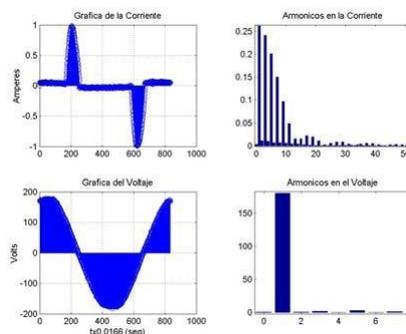


Fig. 14. Formas de onda y armónicos obtenidos del programa “estimador de armónicos”

En la tabla de la figura 13 podemos ver la que la distorsión armónica total de voltaje (THD_v) es del 2.84%.

La forma de onda de la corriente la podemos observar en la figura 37 donde se observa lo distorsionado de esta señal. En la tabla de figura 13 podemos ver la gran cantidad de armónicos que produce esta carga no lineal. Las armónicas pares son despreciables en comparación con las impares. Se hacen notables las armónicas 3^a, 5^a, 7^a, 9^a y la 11^a que son las que aportan la mayor distorsión. La corriente rms que marcaba el amperímetro oscilaba entre 1.1 y 0.5 A y En la tabla de figura 13 vemos que el valor rms de la corriente (I_{rms}) es de 0.32 A, esto debido a una posible falla del amperímetro. El valor de voltaje rms obtenido con el voltímetro fue de 128.5 V. En la tabla de figura 13 podemos ver que la medición del voltaje rms (V_{rms}) es de 127.36 V. La diferencia que hay entre estos valores se puede deber a la resistencia que se colocó en serie con la computadora para hacer la medición de la corriente.

Finalmente, la potencia aparente que consume la computadora (S) es de 40.64 VA, una potencia activa (P) de 10.09 W, una potencia reactiva (Q1) de la onda fundamental considerablemente grande de 21.12 VAR y la distorsión de potencia (D) es de 33.22 VAd. El factor de distorsión (FDist), que indica el porcentaje de distorsión de la forma de onda de corriente con respecto a la fundamental y es de 0.5801. El factor de desplazamiento (FDesp) que es el desfaseamiento que tiene la forma de onda de voltaje contra la forma de onda de corriente fundamental y es de 0.4433. Con ambos factores se calcula el factor de potencia (FP) que para este caso es 0.2484.

6. Conclusiones

Con la realización de este trabajo se abre un campo poco explorado a nivel industrial, muy poco explorado a nivel laboratorio e inimaginable a nivel educativo, al menos en nuestro país. Sería grandioso poder contar en nuestra escuela con un laboratorio que aprovechara al máximo el equipo con que cuenta, en éste trabajo quedan plasmadas las bases para la construcción de una interconexión de instrumentos tan grande como se desee y para las aplicaciones que la imaginación y las necesidades limiten. Día con día la tecnología avanza y dicha tecnología no tiene razón de existir si no la aprovechamos al máximo, fabricantes de instrumentos de medición y control compiten

en mercados globalizados, lo que hace que nos ofrezcan productos con características sorprendentes, del total las características que estos equipos nos ofrecen en promedio solo se utilizan el 20 %, lamentablemente mientras no se realicen y difundan trabajos como el aquí realizado esto seguirá siendo un misterio.

En éste trabajo se mostraron dos maneras de interconectar, comunicar equipos y adquirir datos, a continuación se enlistan las ventajas y desventajas de cada una para que el usuario decida cual de las dos se ajusta a sus necesidades y posibilidades.

6.1. Ventajas y Desventajas del GPIB

Ventajas:

- Esta completamente estandarizado, la mayoría de los instrumentos cuenta con éste puerto.
- Al estar estandarizado, los comandos para su control y programación difieren muy poco entre diferentes marcas de fabricantes.
- Se tiene un control “casi” total del instrumento.
- Casi cualquier lenguaje de programación contiene librerías para el control de estos instrumentos.
- Cada fabricante ofrece un software para la manipulación de estos equipos con un ambiente agradable.

Desventajas:

- Tiene una limitante en distancia, pues por norma, la distancia máxima total de una red de instrumentos no debe de sobrepasar los 20 m y la separación entre instrumentos no debe ser mayor a 4 m.
- Si se deseara aumentar la distancia de la red, existen extensiones que resultan extremadamente caras y que aún no están estandarizadas todavía.
- La programación si no se está familiarizado con el equipo, puede resultar demasiado rebuscada y hasta compleja.
- Conectar, configurar y programar el equipo requiere demasiado tiempo aun cuando la aplicación es sencilla.
- La velocidad de transmisión de datos es baja en comparación con las velocidades manejadas actualmente (8Mbps).

6.2. Ventajas y Desventajas de Ethernet

Ventajas:

- El software para manejar el equipo resulta demasiado amigable para el usuario.
- No requiere del conocimiento de algún lenguaje de programación para su control.
- Se manejan velocidades de transmisión de datos sorprendentes, 1000 Mbps y hasta más.
- Lograr la comunicación entre los equipos es relativamente fácil y requiere poco tiempo.
- Contando con los aditamentos necesarios, se habla de distancias ilimitadas.

Desventajas:

- Solo se pueden controlar algunas funciones del equipo.
- La velocidad de transferencia de datos depende de la velocidad y del tráfico de la red ethernet.
- Es necesario contar con una red ethernet.
- No todos los equipos cuentan con tarjeta de red integrada.

Referencias

1. Comisión Federal de Electricidad. Centro Nacional Control de Energía “sistema de interconexión de la red nacional”.
2. Standar digital interface for programmable instrumentation. IEEE. (1987)
3. Fernando S. G.:. Conexión de Instrumentos de Medida con GPIB” (2005)
4. Matlab: Instrument Control Toolbox: User’s Guide. The Math Works Inc. (2002)
5. National Instrument. NI developer zone
6. Tektronix : “Programmer’s Guide”: Oscilloscopes TDS3000 series
7. Guzmán-C. R.: :Medición a Distancia de Variables Eléctricas A través de los puertos GPIB y Ethernet . Electro (2006)

Antenna Prototypes for Indoor and Outdoor Wi-Fi Communication

M. Tecpoyotl-Torres, J. Escobedo Alatorre, J.G. Vera-Dimas

Universidad Estatal de Morelos (UAEM),
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp),
Mexico

gvera@uaem.mx

Abstract. In previous works, we presented the development of a semi-spherical prototype irradiance meter. On the base of this device, we obtain the radiation patterns of two illumination sources, considering only nine sensors.

Keywords: Antenna, WiFi, indoor, outdoor.

1 Introduction

The meter is conformed by an arrangement of semi-spherical detectors, a signal conditioner circuit, and an acquisition card, for visualize the generated data using a program developed in LABVIEW (see figure 1) [1]. The sensor (amber Light Emitting Diodes) distribution is shown in figure 2. The meter was used to obtain irradiance profiles of illumination sources, and to realize their corresponding data fitting [2].

We are interested in the distribution of the irradiance, instead of the total irradiance over a complete region, which is the information given by the actual spherical meters, such as the Ulbrich spheres. In the obtained discrete profiles we consider that the irradiance is proportional to the voltage intensity detected in each sensor of the meter. These voltage values permit us to obtain the corresponding profile to each source and give us the capability to choose of the more adequate sources for specific tasks.

2 Irradiance Bubble Profiles and Irradiance Patterns

In this case, we analyze the behavior of two illumination sources, shown in figure 3. The first one corresponds to a conventional light bulb, and the last one to a directional source.

We have found as very convenient illumination description to the bubble terms representation, with radius values proportional to the intensity voltage received in each sensor, for the case of research analysis. Still, for practical applications it is necessary to account with a most representative energy distribution, such as the radiation patterns used for antennas in communications theory.

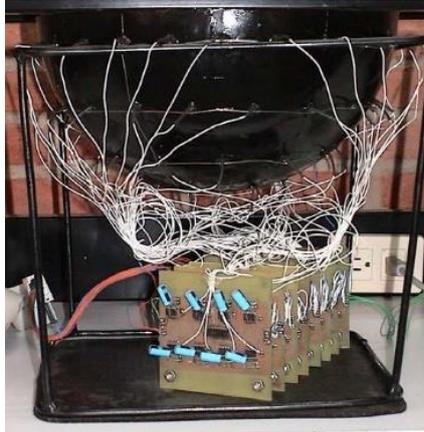


Fig. 1. Complete irradiance meter.

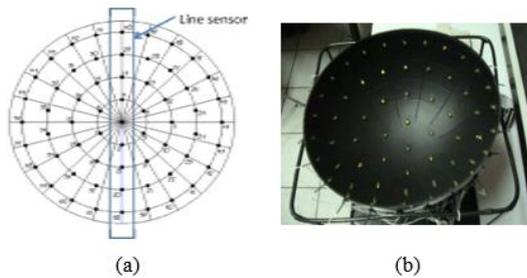


Fig. 2. (a) Sensor distribution and (b) frontal meter view.

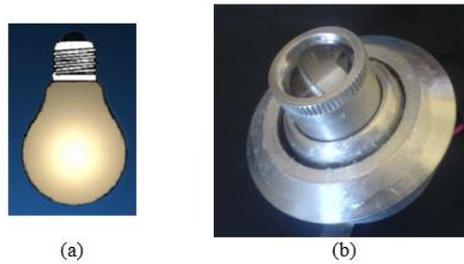


Fig. 3. (a) Light bulb, and (b) a directive source based onLED technology.

In figure 4 and 5, the corresponding irradiance profiles for both sources are presented.

From the information given by the line sensors shown in figure 2a, the irradiance patterns shown in figures 6 and 7, are generated.

Two sources are until certain level, considered as directive sources. When the necessity of illumination would be uniformity on certain area, the light bulb could be replaced by other more adequate, as save energy lamps,

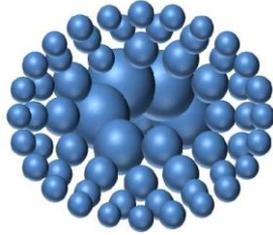


Fig. 4. Irradiance profile of a light bulb (white light, 100W 127V).

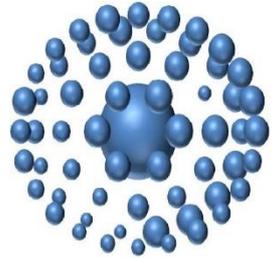


Fig. 5. Irradiance profile of the directive source.

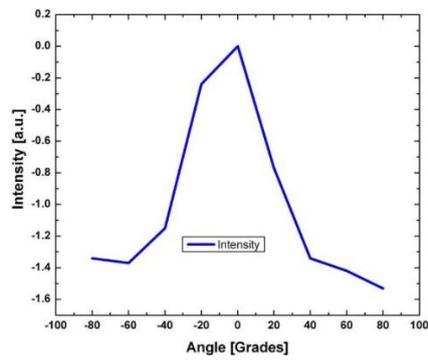


Fig. 6. Irradiance pattern of a light bulb (white light, 100W 127V).

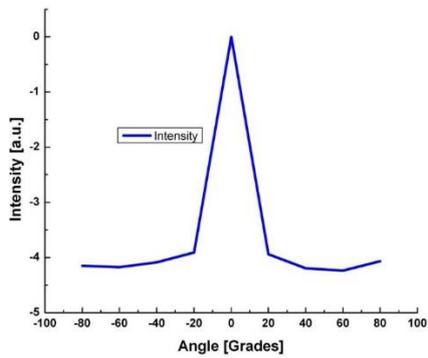


Fig. 7. Irradiance pattern of the directive source.

3 Conclusions

The deviation on symmetry shown in figures 6 and 7, considering as symmetry axe at zero grades, is due to the small differences in the LEDs responsivities. As can be appreciated, the number of samples to generate the irradiance patterns is much reduced, that in the case of irradiance bubble profiles, and for practical applications is more convenient because of its simplicity of interpretation.

On the base of this idea, another irradiance profile meter will be developed with a reduced number of sensors and the consequent small symmetry deviation.

References

1. Rivera Partida, E.E.: Método para caracterizar perfiles de radiación en base a polinomios ortogonales. Bachelor thesis. Advisors: Margarita TecpoyotlTorres and J. Javier Sánchez-Mondragón. CIICAp - INAOE - Instituto Tecnológico de los Mochis (2005)
2. Sánchez-Mondragón, J., Tecpoyotl-Torres, M., Andrade-Lucio, J.A.: Data Fitting on a Spherical Shell. In: SPIE Proc, 5181(6), pp. 51–55 (2003) doi: 10.1117/12.507393.

Estudio de la generación eólica empleando un generador de inducción

J. Martínez Patiño, A. Medina Flores, J. G. Banda Navarro

Universidad de Guanajuato,
Departamento de Ingeniería Eléctrica,
Salamanca, Gto.,
México

jesusmp23@salamanca.ugto.mx

Resumen. El objetivo de esta investigación es mostrar un panorama general de las bases, conceptos y características de la generación eólica, así mismo la importancia que tiene como una fuente renovable de energía. Se presenta un estudio del generador de inducción, mostrando las ventajas y desventajas de su uso en la generación eólica, los tipos de sistemas de conversión que existen y la tendencia tecnológica del sistema con el generador de inducción.

Palabras claves: Generación eólica, generador de inducción.

Study of Aeolic Generation Using an Induction Generator

Abstract. The objective of this research is to provide an overview of the foundations, concepts, and characteristics of wind power generation, as well as its importance as a renewable energy source. A study of the induction generator is presented, showing the advantages and disadvantages of its use in wind power generation, the types of conversion systems available, and the technological trends in the use of induction generators

Keywords: Aeolic generation, induction generator.

1. Introducción

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un calentamiento desigual de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. La producción de energía aprovechando la energía cinética del viento es lo que denominamos como energía eólica. Una turbina eólica o aerogenerador es un dispositivo mecánico que convierte la energía cinética del viento en electricidad, de esta manera las turbinas eólicas son divididas en turbinas eólicas de velocidad fija y de velocidad variable.

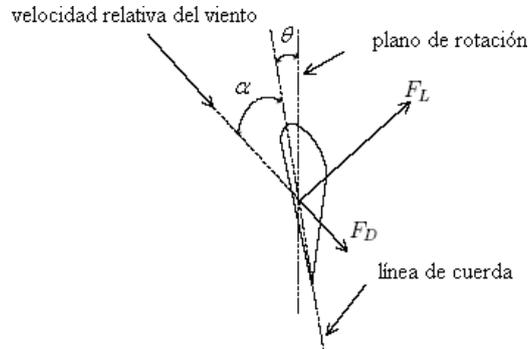


Fig. 1. Conversión aerodinámica.

La potencia mecánica generada por la turbina eólica es transformada en potencia eléctrica por un generador que puede ser de inducción o síncrono. El uso de la electrónica de potencia ha impulsado el desarrollo de diferentes técnicas para efectuar la conversión, siempre hacia la búsqueda de un mejor diseño, operación y eficiencia de los sistemas.

2. Conversión aerodinámica

El aire incidente sobre las palas se divide en dos corrientes, una circula en la parte superior del perfil aerodinámico de longitud mayor y velocidad mayor que la inferior, resultando una diferencia de presión que da como resultado la aparición de una fuerza ascendente (sustentación), F_L y una fuerza de arrastre, F_D .

La dirección de la fuerza ascendente F_L es perpendicular a la dirección del flujo de aire y la fuerza de arrastre F_D está en la dirección del flujo de aire. El ángulo de paso θ , es el ángulo entre la línea de cuerda del alabe o hélice y el plano de rotación. El ángulo de ataque, α , es el ángulo entre la línea de cuerda del alabe y la dirección relativa del viento. La figura 1 muestra la conversión aerodinámica. Si el ángulo de ataque excede un cierto valor, aparecerá una turbulencia arriba del perfil aerodinámico la cual reduce su fuerza de sustentación y en consecuencia el par extraído e incrementa su fuerza de arrastre.

3. Relaciones de potencia

La potencia extraída del aire (viento) en movimiento es expresada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2}(\rho A V) * V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Como muestra la ecuación 1 la cantidadde energía transferida al rotor depende de la densidad del aire, del área de barrido por el rotor y de la velocidad del viento como se muestra en la figura 2.

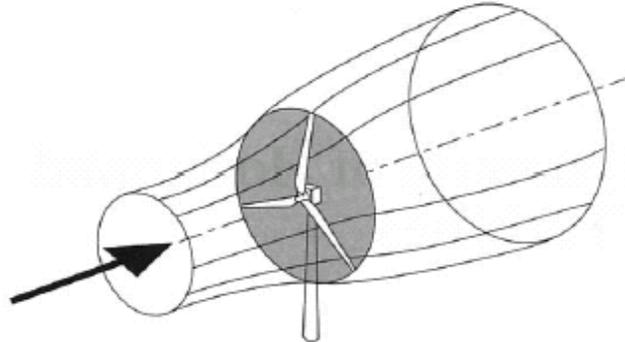


Fig. 2. Tubo de corriente del fluido del viento incidente.

Sin embargo, una cantidad de esa potencia puede ser teóricamente convertida en potencia mecánica así, la potencia extraída por las aspas del rotor es la diferencia entre las potencias del viento aguas arriba y aguas abajo.

4. El coeficiente de potencia relaciones de potencia

El coeficiente de potencia, C_p , es el rendimiento con el cual funciona el aerogenerador y expresa qué cantidad de la potencia total del viento incidente es realmente capturada por el rotor. Esta relación se muestra a continuación:

El límite de Betz es el máximo coeficiente de potencia, con el que puede funcionar un aerogenerador ideal:

$$C_{p\max} = 0.5925$$

Esto indica que la máxima potencia que se puede obtener en teoría, de una corriente de aire, con un aerogenerador ideal, nunca podrá superar al 59.25 % de la potencia del viento incidente. La máxima potencia del viento es extraída, cuando la velocidad del viento aguas abajo iguala a un tercio de la velocidad aguas arriba, bajo esta condición:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 * 0.59 \quad (5)$$

El coeficiente de potencia C_p depende de la velocidad de viento incidente, de la velocidad de giro de las palas, del ángulo de paso, y de la razón de velocidad de punta o promedio (λ), esta última expresa la relación entre la velocidad en la punta de la pala y velocidad del viento incidente, como la muestra la ecuación 6:

$$\lambda = \frac{w_{rot} * R}{V} \quad (6)$$

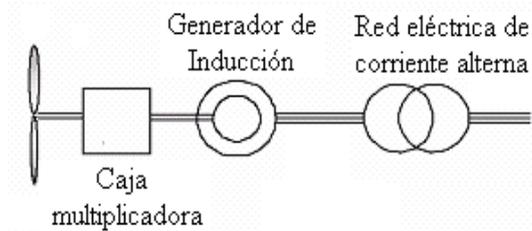


Fig. 3. Sistema de generación eólico de velocidad fija.

Por tanto la potencia extraíble del viento puede ser escrita como sigue:

$$P = \frac{1}{2} \rho * A * C_p(\theta, \lambda) * V^3 \quad (7)$$

5. Sistemas de conversión de energía

Las turbinas eólicas son divididas en turbinas eólicas de velocidad fija y en turbinas eólicas de velocidad variable.

Sistema de velocidad fija

El generador en las turbinas eólicas de velocidad fija es del tipo de inducción conectado directamente a la red. La máquina de inducción ha sido más ampliamente adoptada debido a su más bajo costo y superioridad mecánica de compatibilidad con variaciones rápidas de viento. Este tipo de sistema es por tanto bastante barato y robusto. La figura 3 muestra el esquema del sistema del generador eólico de velocidad fija.

Sistema de velocidad variable.

Actualmente, hay dos grupos dominantes de los conceptos de turbina eólica de velocidad variable en el mercado:

Concepto de velocidad completamente variable: donde el estator del generador está conectado a la red a través de un convertidor de potencia. El coeficiente de potencia de escala completa o quemaneja toda la potencia del sistema. El generador puede ser síncrono o de campo magnético permanente (SG o PMSG) o un generador de inducción (IG). Figura 4.

Concepto de velocidad variable limitada: donde el estator del generador está conectado a la red. La frecuencia del rotor y de esta manera la velocidad del rotor es controlada. La máquina es un generador de inducción de rotor devanado (WRIG). Hay dos especiales conceptos para la turbina eólica:

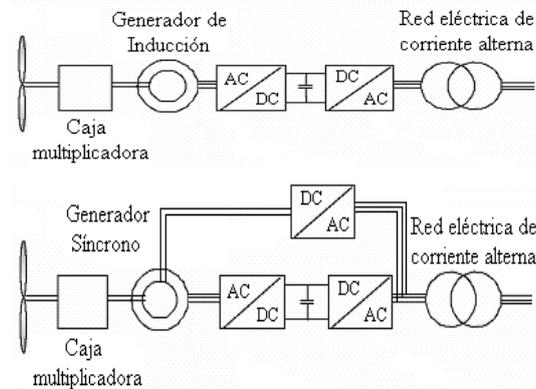


Fig. 4. Sistemas de generación eólica de velocidad completamente variable.

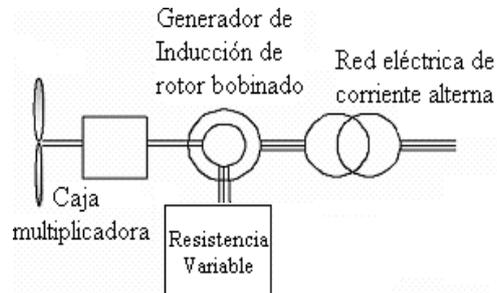


Fig. 5. Sistemas de generación eólica de velocidad variable limitada usando la resistencia variable del rotor.

- Concepto de la resistencia variable del rotor del generador: donde el rotor está conectado a una resistencia externa la cual define o dimensiona el rango de velocidad variable (típicamente 10% arriba de la velocidad síncrona). Figura 5.
- Concepto del Generador de inducción de doble alimentación (DFIG): donde el rotor es controlado por un convertidor de escala parcial de potencia, es decir que no maneja toda la potencia nominal. El convertidor define el rango de velocidad variable (típicamente +/- 30% alrededor de la velocidad síncrona). Figura 6.

El concepto con el generador de inducción de doble alimentación(DFIG) se distingue como una opción muy atractiva con un rápido crecimiento de demanda en el mercado.

La característica fundamental del DFIG es que la potencia procesada por el convertidor de potencia es únicamente una fracción de la potencia total de la turbina eólica y por lo tanto su tamaño, costo y pérdidas son mucho mas pequeñas comparadas a un convertidor de escala completa usado en el concepto de velocidad completamente variable.

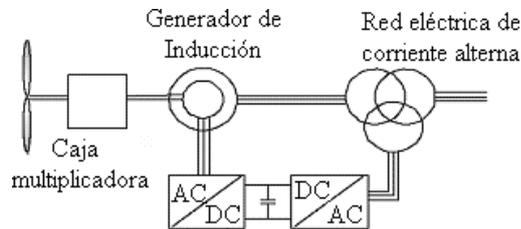


Fig. 6. Sistemas de generación eólica de velocidad variable limitada usando el DFIG.

6. Concepto del generador de inducción de doble alimentación (DFIG)

Este sistema consiste de una turbina eólica con un generador de inducción de doble alimentación. Esto significa que el estator está directamente conectado a la red mientras que el devanado del rotor está conectado mediante los anillos deslizantes a un convertidor permitiendo controlar el voltaje en magnitud y fase. El sistema solamente necesita un convertidor que pueda manejar el 30% de la potencia nominal del generador, lo cual implica menores pérdidas y una reducción de costo.

En contraste con un convencional generador de inducción, la potencia eléctrica de una máquina de inducción de doble alimentación es independiente de la velocidad. Por lo tanto es posible llevar a cabo un generador eólico de velocidad variable y por tanto operar la turbina en el punto aerodinámico óptimo para cierto rango de velocidad del viento.

La principal característica del DFIG es que la potencia procesada por el convertidor es únicamente una fracción de la potencia total de la turbina eólica y por lo tanto su tamaño, costo y pérdidas son mucho más pequeñas comparadas a un convertidor de potencia de gran escala.

Este convertidor es bidireccional y consiste de dos independientes convertidores controlados por voltaje conectados a un bus común de DC. Estos convertidores son ilustrados en la figura 7 y son el convertidor del lado del rotor y el convertidor del lado de la red.

A fin de cubrir un amplio rango de operación de la velocidad sub-síncrona y súper-síncrona, el DFIG es capaz de trabajar como generador en ambos modos sub-síncrono (deslizamiento positivo $s > 0$) y súper-síncrono (deslizamiento negativo $s < 0$), el convertidor debe de ser capaz de operar con el flujo de potencia en ambas direcciones.

El convertidor de potencia compensa la diferencia entre la frecuencia mecánica y eléctrica por inyectar una corriente al rotor con una frecuencia variable de acuerdo a la velocidad de la flecha. A continuación se muestran algunas ventajas y desventajas del DFIG:

- Se puede hacer un control desacoplado de potencia activa y reactiva mediante el control independiente de la corriente de excitación del rotor.

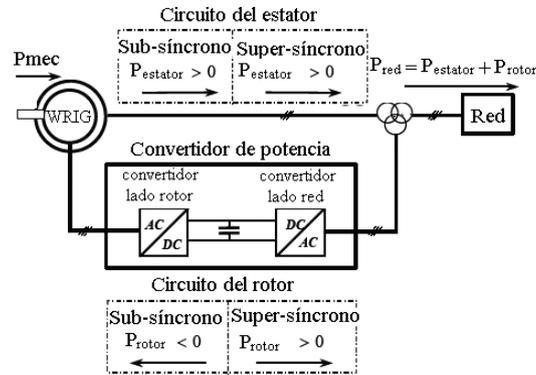


Fig. 7. Diagrama del flujo de potencia en un generador de inducción de doble alimentación.

- Costo reducido del inversor debido a que su capacidad es típicamente 25 o 30% de la potencia total del sistema, mientras que el rango de velocidad es +/- 30% alrededor de la velocidad síncrona.
- Control de la potencia aerodinámica por Stall o pitch.
- Operación en el punto máximo del coeficiente de potencia C_p debido a la velocidad variable.

Entre las desventajas están:

- Construcción más cara que otros sistemas.
- Generación de armónicos.
- Operación a velocidad variable pero en un rango limitado.

7. Conclusiones

El uso de las energías renovables como la eólica, atrae beneficios para el país como el ahorro de combustibles fósiles, la reducción de las emisiones a la atmósfera de gases contaminantes como el CO_2 , la creación de empleos en la industria del ramo y el fortalecimiento de la ciencia y tecnología del país. A su mismo, debido a la reducción de la contaminación el impacto ambiental que se produce por el uso de la energía eólica es menor.

Las energías renovables ofrecen importantes oportunidades para aplicaciones en entornos donde la energía convencional no llega, o sólo de manera parcial.

Es necesario mejorar diferentes aspectos en la generación eólica en México, se debe dar un mayor apoyo al desarrollo tecnológico en esta área para hacer a la energía renovable competitiva frente a las formas convencionales de producción de energía. Es necesario facilitar el diseño, construcción y operación de las formas de transmisión y distribución de energía provenientes de fuentes renovables.

Por todo lo anterior, es recomendable establecer las bases para lograr el apoyo al desarrollo tecnológico de los sistemas de generación eólica, respaldado por la

infraestructura correspondiente defabricación, instalación y financiamiento, con objeto de que la energía eólica contribuya de manera significativa a la oferta energética del futuro.

Se han presentado así mismo las características y las diferentes maneras o tecnologías que pueden ser aplicadas para la conversión de la energía eólica aenergía eléctrica. Se realizo una breve descripción de cada sistema mostrando los puntos más importantes de cada uno.

Seleccionando el DFIG, un sistema de los mencionados en este proyecto de operación de velocidad variable, se realizó el estudio mostrando sus características principales, así como ventajas y desventajas. También se han mostrado la tendencia de los nuevos aerogeneradores que es hacia la operación de velocidad variable, ya que presentan características muy atractivas para su implementación como una mayor captura de energía.

References

1. Banda Navarro, J.G.: Estudio de la generación eólica empleando un generador de inducción. Tesis FIMEE (2007)
2. Girón Rodríguez. M.Á.: El generador de corriente alterna asíncrono. Tesis FIMEE (2001)
3. Mukund R. Patel, Ph.D.: Wind and Solar Power Systems, CRC Press (1999)
4. Kosow Irving L.: Maquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall. Segunda Edición (1993)

Electronic edition
Available online: <http://www.rcs.cic.ipn.mx>



ISSN: 1870-4069
<http://rcs.cic.ipn.mx>



Centro de Investigación
en Computación