

SISTEMA DE INSTRUMENTACION VIRTUAL PARA UN MOTOR DE INDUCCION

(Virtual Instrumentation System for Induction Motor)

Jesús A. Calderón-Vielma, José G. Contreras, Pedro O. Mora, Adolfo J. Rodríguez
jesusc@ing.ula.ve, josecon@ing.ula.ve, pmora@ing.ula.ve
Universidad de Los Andes, Av. Don Tulio
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica
Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Automatización e Instrumentación
Postgrado en Automatización e Instrumentación
Mérida 5101, Mérida Venezuela

Resumen

El objetivo del presente trabajo es el de diseñar e implementar un sistema de instrumentación virtual utilizando el computador personal, como herramienta de medición, que permita realizar las mediciones necesarias para obtener las características de operación de un motor de inducción tales como: tensión, corriente, velocidad, potencia, factor de potencia y par. Las variables del motor, son obtenidas a través de transductores (transformadores de medidas y un tacogenerador). El sistema de instrumentación virtual posee la interfaz necesaria para su conexión al computador personal utilizando el puerto paralelo del mismo, así como la interfaz humano-máquina desarrollada mediante el programa *LabVIEW*[®]. En el computador personal se puede observar el comportamiento de las diferentes variables del motor e interactuar con el programa para automatizar las mediciones. El sistema presenta un bajo costo de implementación y buena confiabilidad comparado con los métodos tradicionales de medición.

Palabras Claves: Instrumentación virtual, motor de Inducción, *LabVIEW*[®], puerto paralelo, laboratorio de máquinas eléctricas.

Abstract

The objective of the present work is to design and implement a virtual instrumentation system, using a personal computer, as a measurement tool that allows to carry the necessary measurements to obtain the induction motor operation characteristics such as: voltage, current, speed, power, power factor and torque. The variables of the motor are obtained by transducers (measure transformers and tacogenerators). The virtual instrumentation system have the necessary interface for its connection to the personal computer using its parallel port, as well as the human-machine interface, by means of *LabVIEW*[®] software. In the personal computer can be observed the behavior of the different variables of the motor and allow interact with the program for automating the measurement. The system present a low implementation cost and good reliability compared with the traditional methods of measurement.

Key words: Virtual instrumentation, induction motor, *LabVIEW*[®], parallel port, electrical machines laboratory.

INTRODUCCION

El crecimiento de la industria de los computadores personales en términos de producción y ventas es comparable a la de los automóviles y a la de los televisores. El computador personal (PC) ha sido incorporado como un equipo indispensable en los laboratorios de docencia e investigación de las universidades. En el campo de las mediciones es a principios de la década de los años 90, cuando comienza la era de la instrumentación basada en el PC (Calderón-Vielma, 1998). La versatilidad de éste, su velocidad de procesamiento y la cantidad de programas disponibles, han hecho de él una herramienta muy importante en la automatización de las mediciones. El desarrollo de instrumentación basada en el PC se ha denominado instrumentación virtual, permitiendo por medio del desarrollo de programas que el computador personal pueda ser operado como cualquier instrumento físico, por ejemplo como un osciloscopio o un analizador de espectro, el cual forma parte de los denominados ambientes virtuales (Spoelder, 1999).

Entre las ventajas que brinda la instrumentación virtual cabe resaltar el hecho de que permite al usuario redefinir su instrumentación (Calderón-Vielma, 1998), ofreciendo una arquitectura abierta con posibilidades de cambiar sin grandes costos de inversión. Para el científico, el profesor y el estudiante el poder interactuar con un programa que facilite el aprendizaje de la manera más amigable y cercana a la realidad, se enmarca dentro de los nuevos paradigmas del proceso enseñanza-aprendizaje del nuevo milenio, tal como se realiza en los laboratorios de circuitos y máquinas eléctricas de la Universidad de Adelaide (Ertugrul, 2000). El poder disponer en una pantalla del PC de todos los instrumentos físicos utilizados para realizar una práctica en el laboratorio, permitirá automatizar la toma de medidas y su posterior análisis de manera muy sencilla.

Si se desea monitorear y/o analizar las variables de un proceso usando un computador personal, es necesario seleccionar o diseñar un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) que permita alimentar las variables de medición del proceso al PC. Se puede entonces definir al SAD como un dispositivo que permite entregar datos del mundo real a un computador. Entre las funciones que tendría un SAD estarán: convertir las variables de

medida en un formato que el computador pueda interpretar, recolectar, monitorear, presentar y analizar datos; controlar el proceso si el SAD posee terminales de salida, lo cual, redundaría en mejorar la eficiencia. Para que un SAD realice las funciones mencionadas debe estar compuesto de: sensores y/o transductores que conviertan la variable de medida en una señal eléctrica; un acondicionamiento de la señal proveniente del sensor y/o transductor; conductores de conexión; un puerto de comunicación normalizado o una tarjeta insertada dentro del computador; y por último un programa que realice la interfaz entre el usuario y la lógica alambrada.

En el presente trabajo se describen las características básicas de un motor de inducción, se presenta una breve descripción de los transductores con su respectivo acondicionamiento, la interfaz de lógica alambrada para el puerto paralelo del PC, la interfaz de lógica programada desarrollada en *LabVIEW*[®] y finalmente se muestran los resultados y las conclusiones.

EL MOTOR DE INDUCCION

Los motores de inducción son máquinas que operan con corriente alterna. Si se aplica una tensión trifásica en sus devanados circula una corriente trifásica, esta corriente produce un campo magnético giratorio. La velocidad de rotación de este campo magnético está dada por la Ec. (1).

$$n_{\sin} = \frac{120 \cdot f_e}{p} \quad (1)$$

donde, f_e es la frecuencia del sistema de alimentación en hertz, y p es el número de polos del motor. Este campo magnético corta las barras del rotor induciendo voltaje en ellas. Como estas barras forman un circuito cerrado circulará una corriente originándose una fuerza perpendicular al campo, produciéndose por lo tanto, un par motriz haciendo que el rotor gire.

El voltaje inducido en una barra del rotor de un motor de inducción depende de la velocidad relativa del rotor con respecto al campo magnético giratorio. Para definir la velocidad relativa se utilizan comúnmente dos términos. Uno de ellos es la velocidad de deslizamiento (n_d), que se define como la diferencia entre la velocidad sincrónica (n_{sinc}) y la velocidad del rotor (n_m), tal como se muestra en la Ec. (2).

$$n_d = n_{\text{sinc}} - n_m \quad (2)$$

El otro término que se utiliza para describir el movimiento relativo es el deslizamiento (s), que corresponde a la velocidad relativa expresada en por unidad o en porcentaje. Para determinar el deslizamiento se utiliza la Ec. (3).

$$s = \frac{n_{sin} - n_m}{n_{sin}} * 100 \quad (3)$$

De acuerdo a la Ec. (3), la velocidad mecánica del eje del rotor se puede expresar en función de la velocidad sincrónica y el deslizamiento. Con la Ec. 4 se determina la velocidad mecánica.

$$n_m = (1 - s) * n_{sin} \quad (4)$$

Al igual que un transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor), pero a diferencia del transformador, la frecuencia en el secundario no es necesariamente la misma frecuencia que hay en el primario, ya que la velocidad mecánica puede variar entre cero y una velocidad muy cercana a la velocidad sincrónica, la frecuencia del rotor se puede expresar según la Ec. (5).

$$f_s = s * f_e \quad (5)$$

Donde f_s es la frecuencia del rotor, y f_e es la frecuencia en el estator.

La potencia eléctrica que entra al motor, con la alimentación de energía eléctrica de voltajes y corrientes trifásicas, se transforma en energía mecánica disponible en el eje del rotor con un par mecánico dado por la Ec. (6) (Chapman, 1993), asumiendo las pérdidas mecánicas iguales a cero (pérdidas por rozamiento y resistencia del aire).

$$\tau_c = \frac{P_s}{2 * n_m} * 60 \quad (6)$$

Donde τ_c es el par de salida del motor en newtonmetro, P_s es la potencia de salida del motor en watt.

MEDICIONES EN EL LABORATORIO

Con lo descrito anteriormente todas las variables pueden ser medidas u obtenidas en forma indirecta a través de experiencias de laboratorio, tal como se realiza en algunas prácticas de los Laboratorios de Máquinas Eléctricas. Con base a las mediciones obtenidas en el laboratorio se obtienen modelos basados en su circuito equivalente (Kosow, 1980), que permiten determinar las respuestas del motor cuando hay variaciones de carga.

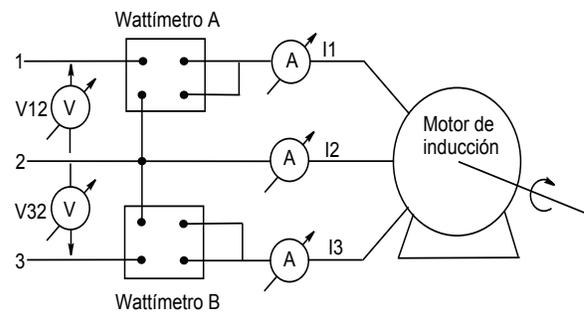


Fig. 1: Instrumentación para pruebas en vacío y a rotor bloqueado del motor de inducción.

Las pruebas deben realizarse bajo condiciones bien controladas, pues las resistencias varían con la temperatura y además la resistencia del rotor también varía al variar la frecuencia del rotor. Las pruebas de los motores están descritas en la norma IEEE-112 (Chapman, 1993).

Las pruebas de vacío y rotor bloqueado para obtener su circuito equivalente se realizan alimentando al motor con una fuente trifásica de energía eléctrica, y se miden las corrientes de línea, el voltaje entre líneas, la potencia eléctrica de entrada al motor y la velocidad en el eje del rotor. En la Fig. 1 se ilustra el esquema de conexión.

Tal como se observa en la Fig. 1, se utiliza el método de los dos wattímetros para medir la potencia de entrada al motor. Para el sistema de medición a utilizar con el computador es necesario disponer de transductores que permitan adaptar las variables de tensión y corriente, por lo que se utilizan transformadores de medida tal como se muestra en la Fig. 2.

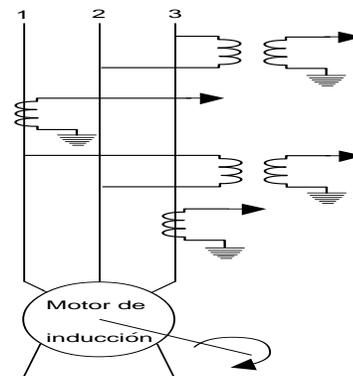


Fig. 2: Diagrama de conexión de los transductores en la alimentación del motor.

Los transformadores de medida, además de obtener el valor de las tensiones y corrientes, permiten aislar y reducir estas variables eléctricas para ser procesadas por dispositivos electrónicos de baja potencia. Igualmente, en el eje del rotor está acoplado un generador de corriente continua, el cual, produce un voltaje continuo proporcional a la velocidad del eje del rotor.

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

Luego de disponer de la señal de los transductores es necesario acondicionar las señales eléctricas a niveles de voltaje adecuados para una interfaz con el computador. En esta etapa las señales provenientes de los cuatro transformadores son filtradas, con el objetivo de eliminar los armónicos producidos que puedan ocasionar errores de medición, así como también las interferencias electromagnéticas. El filtro colocado a la salida de cada transformador es un filtro activo de segundo orden tal como se muestra en la Fig. 3.

Ajustando la ganancia del filtro se puede calibrar el instrumento para calibrar los niveles de voltaje a su salida. Seguidamente las señales son rectificadas utilizando un rectificador de onda completa de precisión, para obtener un nivel continuo de voltaje, que se conecta a la interfaz con el computador.

Hasta ahora se dispone de dos señales de voltaje y de corriente, pero si se multiplican los voltajes y corriente de línea respectivamente, se obtiene la potencia instantánea cuyo valor medio es la potencia activa. Utilizando el principio del método de los dos wattímetros (Wolf y Smith, 1992), se puede obtener la potencia total de entrada al motor. La multiplicación de señales se realiza electrónicamente con multiplicadores analógicos utilizando el integrado MC1495 de la casa fabricante *Motorola*®.

INTERFAZ CON EL COMPUTADOR PERSONAL

Al disponer de las señales acondicionadas la siguiente etapa consiste en una interfaz que pueda comunicarse con el computador personal, para ello se utiliza el puerto paralelo, este puerto permite conectar dispositivos externos tal como una impresora. La mayoría de los computadores personales tienen una conexión paralela y al menos

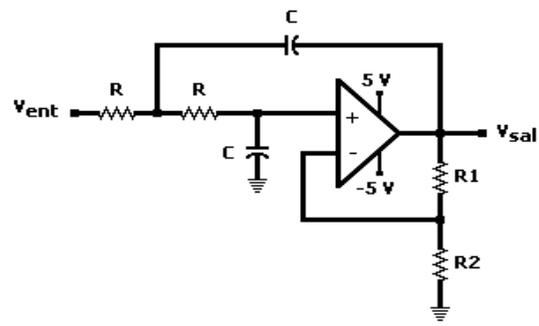


Fig. 3: Filtro pasabajo de segundo orden.

una serial. En el PC, la interfaz paralela utiliza un conector de 25 contactos (tipo DB-25). Esta interfaz es algunas veces denominada interfaz centronics. El estándar utilizado es el basado en la norma IEEE Std. 1284-1994 (IEEE, 1994) con la característica de puerto paralelo estándar.

En la Fig. 4 se muestra la interfaz que comprende un convertidor analógico de ocho bits utilizando el convertidor analógico-digital (A/D) ADC0808. Este convertidor posee un dispositivo de selección de hasta ocho canales de entrada analógica que son seleccionados utilizando tres bits de dirección en el mismo convertidor. Desde la interfaz paralela se controla el canal seleccionado y el inicio de conversión del convertidor, para poder leer el dato binario correspondiente a la variable medida. Adicionalmente se observa en la Fig. 4 un circuito integrado que permite intercambiar los datos del convertidor en dos etapas, ya que el puerto paralelo dispone de cinco bits máximo para entrada de datos, en la configuración utilizada.

Al convertidor llegan seis señales analógicas correspondientes a: dos señales de voltaje, dos señales de corriente, una señal de potencia y una

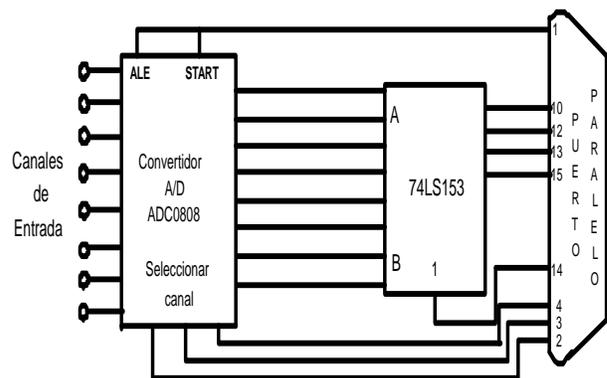


Fig. 4: Interfaz analógica-digital con el puerto paralelo del PC.

señal de velocidad del eje del rotor; todas las señales están en el rango de 0 - 5 V.

INTERFAZ HUMANO MAQUINA

La interfaz humano-máquina (IHM), es el panel en la pantalla del computador que permite observar e interactuar con el proceso de medición de las variables del motor: tensión, corriente, potencia y velocidad, además de visualizar las medidas indirectas de factor de potencia, potencia de salida, potencia reactiva y deslizamiento.

La Fig. 5 muestra el diagrama de flujo del programa diseñado para interactuar con la interfaz del puerto paralelo. En él se selecciona el canal a medir y se aplica el *método de adquisición disparo por software y estado de espera* (Calderón-Vielma 1995), para leer los cuatro bits menos significativos (LSB) y los cuatro bits más significativos (MSB), correspondientes a la palabra de ocho bits del convertidor A/D. La programación se hace con *LabVIEW®*, así como la IHM.

La programación de una aplicación en *LabVIEW®* es muy diferente de la programación en un lenguaje de alto nivel como el C o el Basic. *LabVIEW®* utiliza los símbolos gráficos (iconos) para describir el programa de acciones. El flujo de los datos se realiza a través de los conductores en un diagrama de bloques. Puesto que *LabVIEW®* es gráfico y basado en un sistema de ventanas, se le denomina *Lenguaje de Programación Gráfica o Lenguaje G* y su uso es a menudo mucho más sencillo que un lenguaje tradicional.

Los programas de *LabVIEW®* se llaman instrumentos virtuales (VIs) debido a que su aspecto y operación imitan a los instrumentos reales. La interfaz con el usuario se denomina panel frontal, porque simula el panel frontal de un instrumento físico. Este puede contener perillas, botones, gráficos y otros controles, los controles se pueden ajustar usando el ratón o el teclado del PC, y los cambios son indicados en la pantalla.

Las medidas de voltaje y corriente monitoreadas en la IHM son obtenidas según las Ec. (7) y (8). Como se miden dos tensiones y corrientes se halla un valor promedio para las tensiones y corrientes de línea y se considera que las señales de voltaje y corriente son senoidales. El valor de potencia medida P_e es directamente la potencia total con-

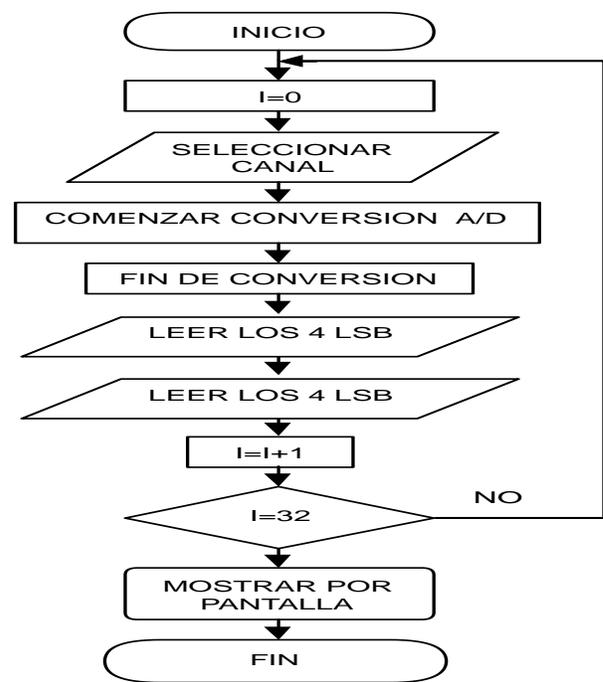


Fig. 5: Diagrama de flujo del programa.

sumida en el sistema. La señal de voltaje medida con el tacómetro acoplado al eje del motor es directamente proporcional a la velocidad del motor.

$$V_{ef} = 1.11 * V_m \quad (7)$$

$$I_{ef} = 1.11 * I_m \quad (8)$$

donde, V_{ef} e I_{ef} es el valor eficaz de la tensión y corriente; V_m e I_m es el valor medio medido de la tensión y corriente.

Las mediciones indirectas corresponden a la potencia de salida P_s , cual es obtenida según la Ec. (6), el deslizamiento s según la Ec. (3), el factor de potencia $\cos\phi$ según la Ec. (9) y la potencia reactiva Q según la Ec. (10), el valor del par τ_c es conocido.

$$\cos\phi = \frac{P_e}{\sqrt{3} * V_{ef} * I_{ef}} \quad (9)$$

$$Q = \sqrt{3} * V_{ef} * I_{ef} * \sin\phi \quad (10)$$

RESULTADOS Y DISCUSION

El panel frontal de la aplicación desarrollada se muestra en la Fig. 6. Las medidas de voltaje y corriente en la HMI fueron obtenidas, multiplicando el valor medio medido por el factor de forma, usando las ecuaciones (7) y (8), convirtiéndose de esta manera en un instrumento virtual para medir voltajes y corrientes eficaces. Con la potencia media de entrada medida se obtiene el factor de

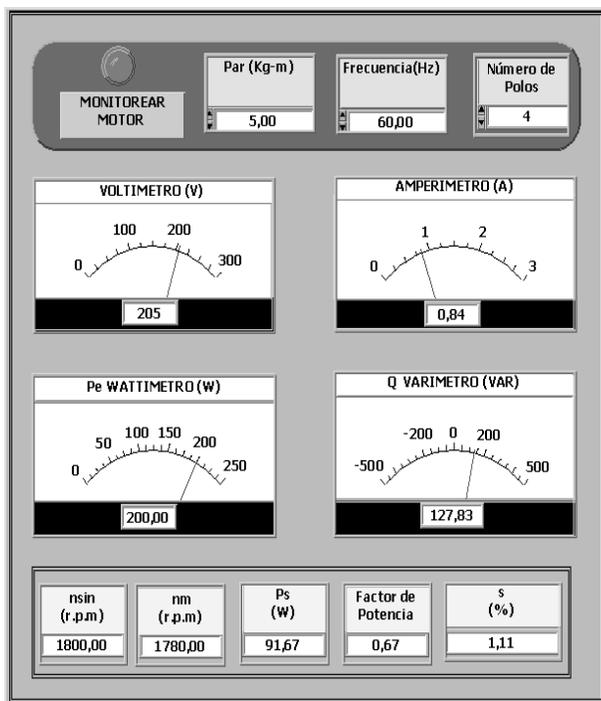


Fig. 6: Panel frontal de la IHM.

potencia ($\cos\phi$) según la Ec. (9). Luego se calcula el ángulo de desfase (ϕ) entre el voltaje y corriente de línea, para obtener en forma indirecta la potencia reactiva (Q).

La IHM permite observar la potencia de entrada, la potencia de salida, la corriente y voltaje de línea, el deslizamiento, la velocidad del campo magnético giratorio, la velocidad del rotor, el factor de potencia y la potencia reactiva, tal como se muestra en la Fig.6.

Las observaciones realizadas en la IHM del sistema permiten al usuario obtener en forma inmediata una visión completa del comportamiento del motor ante cualquier variación de la carga. Los datos pueden ser almacenados para estudios posteriores. Igualmente el error humano se minimiza en el momento de la toma de las medidas.

En el sistema de instrumentación virtual implementado se observan diferencias menores al 5 %

entre los valores obtenidos con la consola virtual y los instrumentos reales.

CONCLUSIONES

El sistema cumple con las exigencias establecidas para realizar ensayos a motores de inducción, es de bajo costo y la reconfiguración es sencilla ya que el programa *LabVIEW*[®], permite el desarrollo de aplicaciones en forma rápida utilizando el *Lenguaje G*, lo que indica que se pueden realizar mediciones a otras máquinas utilizando la interfaz diseñada.

REFERENCIAS

Calderón-Vielma, J. A., Instrumentación Virtual, Reporte Técnico. Postgrado en Automatización e Instrumentación. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela (1998).

Calderón-Vielma, J. A, Sistemas de Adquisición de Datos con PC, I Jornadas de Instrumentación y Control IEEE-ULA: 10-14. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela (1995).

Chapman, S., Máquinas Eléctricas, 2a. Edición, McGraw Hill. México (1993).

Ertugrul, N., Electrical Circuits and Machines Laboratory, National Instruments. USA (2000).

IEEE Std. 1284-1994, IEEE Standard Signaling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers. USA (1994).

Kosow, I. L. Máquinas Eléctricas y transformadores, Editorial Reverté, S.A. España (1980).

Spoelder, H. J, Virtual Instrumentation and Virtual Enviroments, IEEE Instrumentation and Measurement Magazine: 2 (3), 14-19 (1999).

Wolf, S. y R. F. Smith Guía para Mediciones Electrónicas y Prácticas de Laboratorio. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México(1992).