

MEDICIÓN DE VELOCIDAD SIN SENSOR EN MOTORES DE INDUCCIÓN CONECTADOS DIRECTAMENTE A LA LÍNEA

José Francisco Valdivia Ramos (1), Antonio Zamarrón Ramírez (2), Salomón Rodríguez Carrera (3), Daniel A. Zamarrón Barrón (4)

1 [Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de León] | [franciscovr_12@hotmail.com]

2 [Departamento Metal-Mecánica, Electromecánica, Campus I, ITL] | [zamarron@itleon.ed.mx]

3 [Departamento Metal-Mecánica, Mecatrónica, Campus II, ITL] | [salo_carrera@hotmail.com]

4 [Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de León] | [danieldeoro@hotmail.com]

Resumen

En este artículo se presenta una solución viable para medir sin sensor la velocidad en motores de inducción conectados directamente a la red eléctrica mediante LabVIEW®. Para estimar la velocidad se utiliza la saliencia espacial generada por el efecto de ranurado entre estator y rotor. Esta saliencia induce en los devanados del estator una corriente que se refleja como un armónico en las corrientes de fase. La señal de la corriente inducida se introduce en un filtro digital pasabandas para separar el armónico de interés. Los resultados obtenidos con el sistema implementado muestran una gran exactitud y precisión en la medición. La velocidad medida por el sistema se ha comparado con la de un pulsómetro que recibe la señal de un encoder, mostrando una diferencia de ± 1 rpm.

Abstract

In this article a measuring speed system without sensor for induction motors is presented. The electrical motor is supplied directly by the electric line. The space salience generated by slotting effect is used to estimate the rotor speed. This salience induces an electrical current into the stator windings that is reflected like a harmonic on the motor phase current. The current signal is introduced in a band pass filter to separate the slotting harmonic. The results indicate a high accuracy and precision for the speed measurement. The calculated speed is compared with the displayed speed by a digital tachometer, showing a gap of ± 1 rpm.

Palabras Clave

Armónico por ranurado; Motor de inducción; Velocidad;

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Descripción del problema

En los tiempos actuales el aprovechamiento y buen uso de los recursos energéticos es crucial para el desarrollo de los países, antes de tomar acciones para usarlos de manera eficiente se deben conocer parámetros tales como la eficiencia de operación de cualquier sistema que utilice algún tipo de energía para funcionar. Ejemplo de estos sistemas son los utilizados para la extracción de agua potable, allí se emplean bombas sumergibles impulsadas por *motores eléctricos de inducción*, que generalmente están conectados directamente a la línea eléctrica, es decir, sin variador de velocidad. El abuso desmedido del vital líquido ha obligado a buscar en profundidades cada vez más lejanas este recurso, exigiendo equipos más eficientes y mejor desarrollados. Existe una curva Eficiencia-Velocidad específica para cada modelo de motor en particular, usualmente es proporcionada por los fabricantes, en ella se gráfica la relación entre estas 2 variables, y se muestra el punto de operación del motor donde su eficiencia es máxima. Para el dibujo de la curva se considera la carga del motor constante, ello nos lleva a pensar que si se modifica la carga en el eje del motor también varía su velocidad y cambia por ende la eficiencia de operación. Por tanto, al conocer la velocidad para una máxima eficiencia se puede saber si el motor trabaja en condiciones óptimas teniendo cierto valor de velocidad. Pero, ¿Cómo medir la velocidad de rotación de un motor que se encuentra sumergido en un pozo con 100 m de profundidad, donde el único punto visible del eje de transmisión es el cuerpo de succión dentro de un espacio muy reducido bajo elevadas presiones?

Solución propuesta

Los motores de inducción son considerados como motores sin saliencias, sin embargo estos pueden presentar saliencias por saturación, por excentricidad o por ranurado. La saliencia por ranurado cambia la reluctancia en el entrehierro

cuando las ranuras y dientes del rotor pasan frente a las ranuras y dientes del estator. Este cambio de reluctancia crea armónicos espaciales en el flujo (saliencias espaciales) induciendo una corriente en los devanados del motor [1]. Al armónico inducido se le conoce como armónico por ranurado y puede ser utilizado para determinar la velocidad de rotación del motor [2]-[3]. La frecuencia del armónico por ranurado depende de los factores mostrados en (1) [4].

$$f_{sh} = \left[(kR \pm n_d) \frac{(1-s)}{p} \pm v \right] f \quad (1)$$

donde

- f_{sh} Frecuencia del armónico de ranura;
- k cualquier entero positivo;
- R número de ranuras o barras del rotor;
- n_d Orden de excentricidad, vale cero para la excentricidad estática, y toma valores enteros de 1, 2, 3 etc. en caso de excentricidad dinámica;
- f Frecuencia de alimentación del motor;
- s Deslizamiento;
- p número de polos de la máquina eléctrica;
- v Orden del armónico, que se desea saber su frecuencia;

Los armónicos principales normalmente se obtienen cuando $n_d = 0$, $v = 1$, $k = 1$ [4]. En este trabajo se consideran $n_d = 0$, $k = 1$ y $v = 3$. Se verá más adelante porque se optó por considerar $v = 3$. Para localizar la frecuencia del armónico por ranurado del espectro de frecuencias de la corriente de estator se utiliza un filtro digital pasabandas al igual que en [5], que elimina las frecuencias ajenas al proceso antes de pasar a la etapa de procesamiento de la señal. Las frecuencias de corte deben ser modificadas de acuerdo a los parámetros de la ecuación (1). Después de localizar la frecuencia del armónico de ranurado, se emplea la ecuación (2) [3], para obtener el valor de la velocidad en rad/s, luego se convierten a RMP.

$$\omega_r = 2\pi \left(\frac{f_{sh} \pm vf}{R} \right) \quad (2)$$

donde

ω_r Velocidad angular del rotor en rad/s;

f_{sh} Frecuencia del Armónico por ranurado;

v Orden del armónico (para este caso 3);

f Frecuencia del voltaje de alimentación del motor;

R Número de ranuras del rotor;

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la implementación del sistema de medición de velocidad se armó un banco de pruebas compuesto por dos motores de inducción, un variador de velocidad, una fuente de voltaje trifásica, un encoder, un sensor de efecto hall y un tacómetro digital. En la Imagen 1 se presentan los componentes del banco de pruebas. El motor conectado al variador de velocidad sirve como carga para el motor bajo prueba. El encoder y el tacómetro digital sirven como instrumento de comparación de la velocidad.

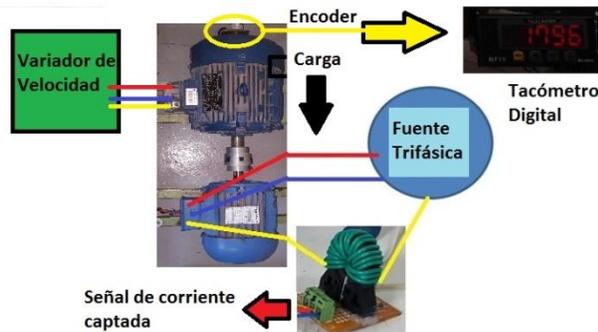


Imagen 1. Conexiones del Banco de Pruebas.

El sensor de efecto hall se conecta en serie con cualquiera de las fases del motor bajo prueba, la señal captada por el sensor se envía a una tarjeta de adquisición de datos, DAQ.

En la Imagen 2 se muestra las etapas de adquisición de la señal corriente, procesamiento de datos y despliegue de la velocidad.

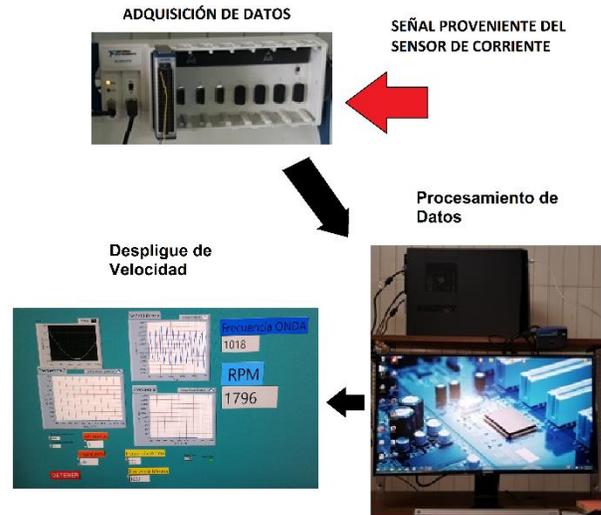


Imagen 2. Adquisición y procesamiento de datos así como despliegue de la velocidad del motor bajo prueba.

Se muestra que la señal proveniente del sensor de corriente llega a la tarjeta de adquisición de datos (NI9206), ésta se comunica con el ordenador, donde se procesa la información con un programa realizado en LabVIEW®, el cual también es utilizado para desplegar la velocidad.

La Imagen 3 es un diagrama de bloques donde se explica de forma sencilla las funciones que se realizan en el código.

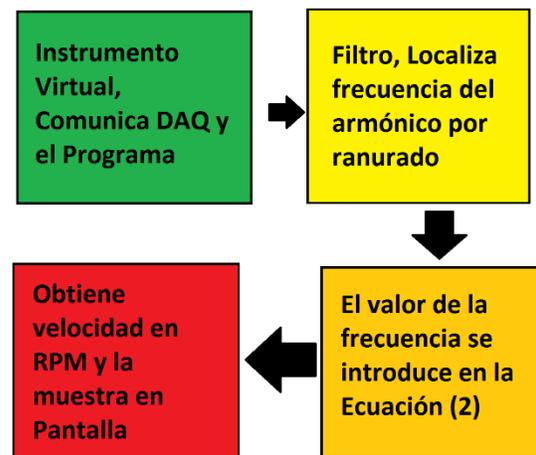


Imagen 3. Diagrama de flujo que explica la principales funciones del código realizado en LabVIEW

La Imagen 4 contiene al aspecto del código realizado en LabVIEW. Allí se encuentran los bloques VI's de la DAQ, filtro pasabandas, medidor de tono (tone measurement) y la ecuación para obtener la velocidad.

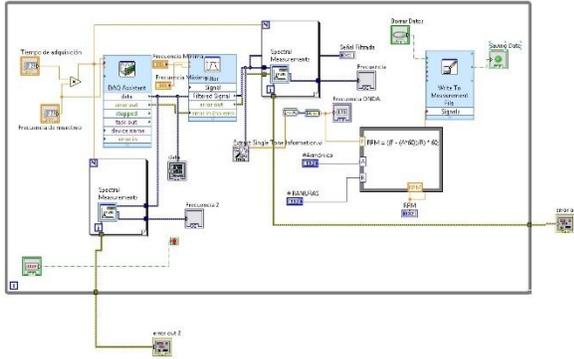


Imagen 4. Aspecto del código creado en LabVIEW

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un sistema de medición de velocidad con exactitud de ± 1 RPM, considerando como instrumento patrón al tacómetro digital. Las imágenes 5 y 6, muestran mediciones donde se comparan los valores obtenidos con ambos métodos.

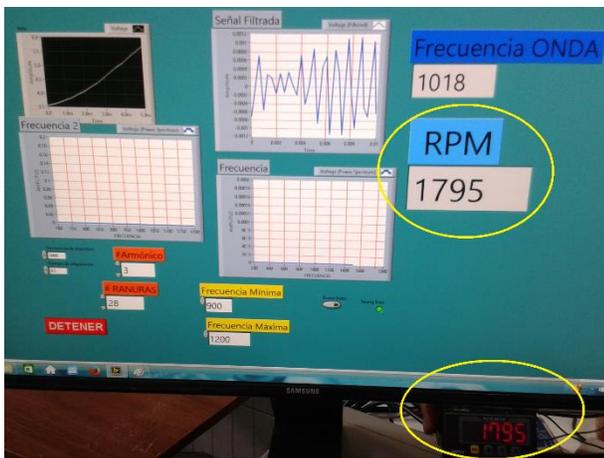


Imagen 3. Prueba 1 de Medición de velocidad.

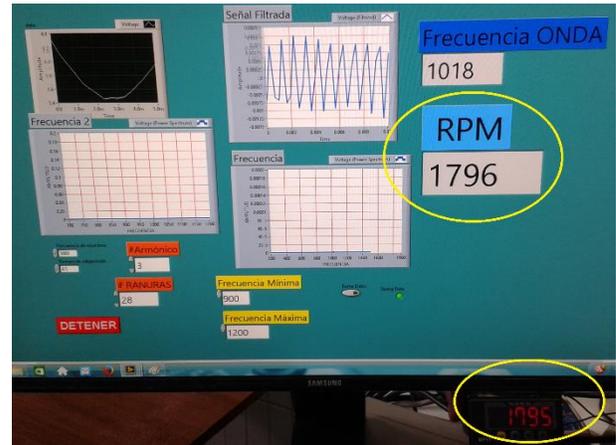


Imagen 4. Prueba 2 de Medición de Velocidad.

En ambas imágenes (5 y 6), la velocidad medida y calculada se encuentran encerradas en las elipses. Se observa que en la Prueba 1, las velocidades son iguales, mientras que en la Prueba 2 existe una diferencia de 1 RPM, el programa despliega 1796 RPM y el tacómetro 1795 RPM. Cabe mencionar que estas pruebas se hicieron con el motor sin carga, aunque en condiciones bajo carga el sistema presentó la misma exactitud de ± 1 RPM.

Las pruebas realizadas presentaron poca variación en los despliegues de velocidad, para un solo punto de operación del motor, por tanto se implementó un sistema con alta precisión en la presentación de los valores de velocidad medidos.

CONCLUSIONES

Los instrumentos virtuales son una solución práctica para ciertos sistemas de medición, por ejemplo el sistema mostrado puede implementarse en una planta de bombeo, donde se necesite monitorear constantemente la velocidad de los motores de inducción que impulsan las bombas sumergibles. La flexibilidad que ofrece el software LabVIEW permite al programador seleccionar la técnica de procesamiento de señal más conveniente a su sistema.

También es importante decir que el programa solicita al usuario las frecuencias de corte para el filtro pasabandas, se pretende en una etapa posterior que el programa determine estas

frecuencias de corte de acuerdo al número de barras del rotor y velocidad nominal.

AGRADECIMIENTOS

Se Agradece el apoyo y motivación recibido del Instituto Tecnológico de León a través del programa “Apoyo a trayectorias Profesionales”.

REFERENCIAS

Artículos:

[1] Nandi, S., Slot permeance effects on rotor slot harmonics in induction machines (2003) Conference: Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International, Volume 3, pp. 1633-1639, DOI: 10.1109/IEMDC.2003.1210670.

[2]. Beguenane, R., Benbouzid, M.H.E. & Capolino, G. A. (1996). An Electrical Speed Detection Based on Current Line Spectral Analysis for Induction Motor Drives. MELECON '96. , 8th Mediterranean, Volume 1, pp. 487-490, DOI: 10.1109/MELCON.1996.551585.

[3] RAȚĂ, G., RAȚĂ, M., GRAUR, J., MILICI, Dan L., (2009) Induction Motor Speed Estimator Using Rotor Slot Harmonics. IEEE Advances in Electrical and Computer Engineering, Volume 9, Number 1, pp. 70-73, DOI 10.1109/IEMDC.2003.1210670.

[4] Nandi, S., Ahmed, S., Toliyat, H.A., (2001). Detection of Rotor Slot and Other Eccentricity Related Harmonics in a Three Phase Induction Motor with Different Rotor Cages. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 16, NO.3, pp. 253-260, DOI: 10.1109/MPER.2001.4311622.

[5] Yamamoto, K., Iimori, K., Morita, H., (2010). A Study of Digital Filter for Rotor Speed Detection with Slot Harmonic Current for Induction Motor. TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference, pp. 2137-2142., DOI: 10.1109/TENCON.2010.5686759.