

Validación Experimental de la Metodología Motor Current Signature Analysis para un Motor de Inducción de 2 HP

Experimental Validation of Motor Current Signature Analysis for a 2HP Induction Motor

Silvia J. Oviedo¹, Jabid E. Quiroga^{1}, Gabriel Ordóñez Plata².*

¹Esc. Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander, UIS. Cra 27 Cll 9. Bucaramanga, Colombia.

²Esc. de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander, UIS. Cra 27 Cll 9. Bucaramanga, Colombia.

(Recibido el 17 de mayo de 2012. Aceptado el 09 de octubre de 2013)

Resumen

El análisis de las corrientes de estator en la monitorización de máquinas eléctricas rotativas, particularmente en motores de inducción, ha tenido un creciente interés, debido a que la información contenida en el espectro de la señal de corriente puede indicar la presencia de diversos tipos de fallas tanto eléctricas como mecánicas. En este trabajo se implementó un banco de pruebas para motores de inducción de 2 HP con el fin de validar la metodología MCSA (Motor Current Signature Analysis) para la detección de: corto circuito en el devanado del estator, barras de rotor rotas y excentricidad del entrehierro bajo distintas condiciones de carga. Los resultados dejan ver el grado de dependencia entre la condición de carga del motor con falla y la posibilidad de detección de la misma, así como evaluar la viabilidad de la implementación de dicha metodología en los esquemas de mantenimiento basado en la condición (CBM).

----- *Palabras clave:* Detección de fallas, mantenimiento basado en la condición, monitorización de motores eléctricos, MCSA

Abstract

The use of stator currents signal analysis for rotating electrical machines monitoring, particularly induction motors, has developed a growing interest, as the information contained in the spectrum of the current signal can indicate the presence of various types of both electrical and mechanical failures. In

* Autor de correspondencia: teléfono: +57 + 7 + 6344000 ext. 2410, fax + 57 + 7 + 634 61 39, correo electrónico: jabib@uis.edu.co (J. Quiroga)

this work a test bed for induction motors 2 HP was implemented in order to validate the MCSA (Motor Current Signature Analysis) methodology, for the detection of: short circuit in the stator winding, broken rotor bars and eccentricity gap under different load conditions. Results show the dependency between the load level on the motor and the possibility to detect faults, and make possible to assess the feasibility of implementing MCSA methodology in of condition-based maintenance (CBM) schemes.

----- *Keywords:* Condition based maintenance, fault detection, electric motors monitoring, MCSA

Introducción

Los motores de inducción son las máquinas eléctricas más populares en la industria, por lo que del buen desempeño de los mismos depende el éxito de las operaciones dentro de un proceso industrial. Es por ello que para las industrias es importante implementar un sistema de monitoreo que permita identificar condiciones anormales de manera prematura, para prevenir daños mayores en los procesos y riesgos a los operarios involucrados.

El análisis de las características de la corriente de un motor de inducción o MCSA, por sus siglas en inglés (Motor Current Signature Analysis) es una técnica de monitoreo de máquinas eléctricas [1]. Dicha técnica forma parte de las prácticas del mantenimiento basado en la condición, en el cual no se requiere la detención de las máquinas eléctricas de una planta para su posterior evaluación de condición, sino que por el contrario, se aprovechan las características de las señales (ya sea en estado transitorio o estacionario) propias de la operación del equipo, como la corriente (en el caso de MCSA) o las vibraciones para la detección de fallas en los diferentes elementos del mismo.

En presencia de falla, esta señal contiene algunas frecuencias las cuales pueden ser utilizadas como indicadores de la misma. Algunas de las fallas más comunes en motores de inducción son: cortocircuito entre las bobinas del estator, barras rotas y excentricidad del rotor. Las estadísticas muestran que las fallas relacionadas con el

cortocircuito en el devanado del estator son las que más se presentan en los motores eléctricos [1]. Esta anomalía generalmente comienza como un problema de aislamiento no detectado entre dos espiras adyacentes, que luego evoluciona hasta convertirse en una falla de aislamiento entre varias espiras [2]. Estas fallas se hacen mayores cada vez que el motor es encendido y deterioran su condición progresivamente. Por otro lado, la falla de barras rotas en el rotor, que es usualmente no reparable, se presenta con mayor frecuencia en motores de gran tamaño y con grandes torques de arranque. En cuanto a la excentricidad del rotor, en condiciones severas, se puede presentar rozamiento entre el estator y el rotor. Un gran valor de esta condición o su aumento pueden ocasionar pandeo del rotor, afectando tanto a los rodamientos del motor como al aislamiento del estator por el contacto de esta zona con el rotor.

Dentro de los resultados de esta investigación se encontró una fuerte dependencia del éxito en la detección de las fallas con el nivel de carga del motor, y se estableció en qué medida afectan los porcentajes de carga evaluados en la evolución de los parámetros estudiados. Así, el creciente interés de la comunidad científica internacional alrededor de la técnica MCSA es la motivación principal del estudio realizado para explorar dicha técnica bajo diferentes condiciones de experimentación y así, poder acercarla a los posibles interesados de la industria regional y contribuir a la discusión acerca de MCSA que las investigaciones alrededor del mundo suscitan.

Metodología motor current signature analysis

MCSA es una técnica de monitorización de máquinas eléctricas, ampliamente utilizada, que permite diagnosticar el estado eléctrico y mecánico de motores, utilizando la información proporcionada por la señal de corriente. Dicha información se extrae utilizando algoritmos de procesamiento de señales y técnicas matemáticas como: Transformada Rápida de Fourier (FFT), Transformada wavelet, Power Spectral Density, entre otras. La metodología propuesta por esta técnica consiste en revisar detalladamente los rasgos de la corriente de estator en el dominio de la frecuencia. Los rasgos de la corriente son variados, desde el área de las componentes espectrales, la amplitud de las mismas, hasta la aparición de bandas laterales alrededor de frecuencias determinadas.

Para emplear la técnica MCSA en el diagnóstico de fallas en motores de inducción debe tenerse en cuenta que cada tipo de falla imprime variaciones en los rasgos mencionados antes, y la cantidad y severidad de variaciones está teóricamente en directa relación con la presencia y severidad de un determinado defecto.

Detección del corto circuito en el estator de un motor de inducción

Las posibles causas de la falla de cortocircuito de un motor de inducción son las siguientes [3, 4]:

- Durante el arranque del motor, el aislamiento entre espiras sufre una sobretensión transitoria.
- Desbalances y sobretensiones que causan incrementos en la temperatura de los devanados y deterioro del aislamiento.
- Corto circuito y descargas eléctricas.
- Ambientes agrestes como: contaminación, humedad, químicos y altas temperaturas que debilitan el aislamiento.

- Una vez inicia la evolución de una falla incipiente, ésta se puede detectar de forma temprana por medio de distintos análisis de la señal de corriente, ya sea en dominio tiempo o en el dominio de la frecuencia. En este trabajo se analizó la corriente del estator del motor empleando ambas técnicas, descritas a continuación:

Componente de secuencia negativa

La detección del cortocircuito entre las bobinas del estator de un motor de inducción trifásico, se ha realizado utilizando diversos enfoques; uno de ellos es utilizando el fasor de la componente de secuencia negativa de las componentes fundamentales de las tres corrientes del estator [4]. El fasor de esta componente (\vec{I}_{a2}) se obtiene usando (1):

$$\vec{I}_{a2} = \frac{1}{3} (\vec{I}_a + \alpha^2 \vec{I}_b + \alpha \vec{I}_c) \quad (1)$$

Donde \vec{I}_a , \vec{I}_b e \vec{I}_c corresponden a los fasores de la componente fundamental de las corrientes de cada una de las fases (normalmente la magnitud de estos fasores corresponden a su valor eficaz) y α es un operador complejo de magnitud 1 y ángulo de fase equivalente a $2\pi/3$ rad (120°), es decir: $\alpha = e^{j2\pi/3}$. Cuando un sistema trifásico de tres hilos está desbalanceado, aparece la componente de secuencia negativa en la corriente (la componente de secuencia cero también aparecerá si el sistema es de cuatro hilos); la magnitud del fasor (valor eficaz) de la componente de secuencia negativa (\vec{I}_{a2}) está directamente relacionada con el nivel de desbalance de la carga (corrientes en el estator de un motor eléctrico). Las asimetrías en las corrientes de las máquinas eléctricas son originadas por diversas causas como: 1) Cortocircuito en el devanado de estator 2) Asimetrías inherentes a la máquina y a la instrumentación 3) Fluctuaciones en la carga mecánica acoplada al motor 4) Tensiones de alimentación desequilibradas. Estas asimetrías se reflejan en la corriente de secuencia negativa. En este estudio, la componente de secuencia negativa de la corriente es utilizada como un indicador de la falla de corto circuito en el estator, usando (1).

Estudios tanto analíticos como experimentales han mostrado un incremento en la componente de secuencia negativa de la corriente del estator cuando se presenta una falla de cortocircuito en sus devanados [5].

Análisis del espectro de corriente

En [6] se reporta que un cortocircuito en el devanado del estator genera la elevación de la magnitud de algunas componentes de frecuencia en la señal de corriente. Los valores de frecuencia de estas componentes se determinan utilizando la ecuación (2):

$$f_{st} = f_1 \left\{ \frac{n}{p} (1 - s) \pm k \right\} \quad (2)$$

Donde f_{st} son las frecuencias de las componentes de frecuencia de las corrientes del estator asociadas a la falla de corto circuito, f_1 es la frecuencia fundamental de la tensión de suministro del sistema eléctrico, p es el número de pares de polos, $n = 1, 2, 3, \dots$ (secuencia continua de valores) $k = 1, 3, 5, \dots$ (secuencia de números impares) y s es el deslizamiento del motor.

Para emular las fallas de corto circuito, en este estudio, el devanado del estator de un motor de inducción fue reconstruido con varias terminales accesibles para variar la severidad de la falla corto, pudiéndose emular corto circuitos del 2%, 5% y 10% de las espiras asociadas al devanado.

Detección de barras rotas en el rotor de un motor de inducción

Las barras del rotor se pueden romper como producto del estrés térmico, magnético o dinámico (fuerzas centrífugas), abrasión, pulsaciones de carga, fallas de rodamientos [4], y ciertos problemas de fabricación que se pueden presentar en los motores de inducción. Ciclos de trabajo pesado y largos tiempos de arranque aumentan la incidencia de grietas en la región de unión de la barra y el anillo del rotor. Aunque pasan sin ser detectadas en su etapa inicial, esta falla aumenta progresivamente en intensidad como consecuencia

de la elevación de la temperatura alrededor de la grieta y la corriente adicional sobre las barras en buen estado, incrementando el estrés térmico en el rotor durante los arranques del motor.

La detección de barras rotas empleando MCSA ha sido ampliamente estudiada [7, 8]. En estos enfoques, la detección se realiza por la observación de algunas frecuencias específicas de bandas laterales alrededor de la frecuencia fundamental asociada a esta falla en particular. La diferencia entre la frecuencia de banda lateral y la frecuencia fundamental depende del factor de deslizamiento s de motor. Las componentes de frecuencia de la corriente del bobinado del rotor son sf_1 , donde f_1 es la frecuencia fundamental de la red de suministro y s el deslizamiento del motor. Estas corrientes generan un campo magnético giratorio y, como consecuencia, un par desarrollado. Bajo una condición de falla producida por barras rotas se produce un desequilibrio en las corrientes del rotor. Esta condición anormal crea un campo giratorio a la frecuencia de deslizamiento y opuesto respecto a la rotación del rotor, induciendo unas corrientes en el devanado del estator cuyas frecuencias se evalúan usando (3) [9]:

$$f_{bb} = f_1 (1 \pm 2s) \text{ Hz} \quad (3)$$

En donde f_{bb} corresponde a las frecuencias de las componentes de corriente inducidas en el estator, generadas por las barras rotas en el rotor. El término $(1+2s)$ es debido a la ruptura de barras y el término $(1-2s)$ se genera por la oscilación de velocidad consecuente. En [10], se establece que la evaluación de las frecuencias de las componentes espectrales correspondientes a la falla de barras rotas deben considerar también las posibles componentes armónicas que se puedan presentar en el sistema eléctrico. Con esta consideración, las frecuencias de las componentes de frecuencias de las corrientes inducidas en el estator, debidas a las barras rotas en el rotor se evalúan usando (4):

$$f_{bb} = f_1 (1 \pm 2ks) \text{ Hz} \quad (4)$$

Siendo $k = 1, 2, 3, \dots$

Detección de excentricidad del rotor

La excentricidad se presenta en el rotor cuando el eje de su centro de masa no coincide con el eje de rotación o por la existencia de un rotor deformado o con sección ovalada. La excentricidad puede causar daños en el motor debido al posible contacto que puede producirse entre el rotor y el estator. Otro efecto de la excentricidad del rotor, es la generación de componentes de frecuencia inducidas en la corriente del estator del motor. En condiciones de excentricidad en motores de inducción se han reportado la presencia de componentes de frecuencia en la señal de corriente. Las frecuencias de estas componentes se determinan con la ecuación (5) [11-12]:

$$f_{ecc} = f_1 \left(1 \pm k \left(\frac{(1-s)}{p} \right) \right) \quad (5)$$

Donde f_{ecc} es la frecuencia generada por la falla, f_1 es la frecuencia fundamental de la tensión de suministro, s es el deslizamiento, p corresponde al número de pares de polos y k es un escalar entero (1, 2, 3...). En [13] se demostró que las oscilaciones de la carga instalada al motor pueden generar componentes armónicas en la corriente del estator con valores de frecuencia similares a las que se pueden producir por excentricidades en el rotor, que pueden enmascarar las componentes de frecuencia producidas por esta falla.

Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados experimentales obtenidos utilizando la metodología de monitorización MCSA en la detección de las fallas correspondientes a cortocircuito en el estator, barras rotas y excentricidad del entrehierro de un motor de inducción trifásico. Las pruebas se diseñaron con el fin de evaluar esta técnica bajo diferentes condiciones de severidad de fallas inducidas y diferentes condiciones de carga en el motor de inducción.

En las pruebas realizadas se emplearon motores de 2 Hp, 440/220V, 4 polos, 22 barras de rotor, 1800

rpm, 60 Hz. La figura 1 muestra una fotografía del banco de pruebas implementado, así como un diagrama esquemático de las componentes del banco de prueba que permite la aplicación de la metodología MSCA. Las condiciones de carga del 75% y 85% de la corriente nominal fueron obtenidas utilizando como carga del motor un generador de corriente continua de 220 VDC al cual se le conectan cargas resistivas.

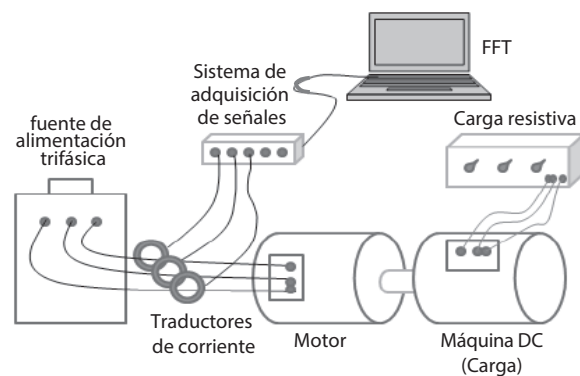


Figura 1 Esquema de las componentes del banco de pruebas

El sistema de adquisición de datos fue implementado en Matlab/Simulink® con el software Windaq® como interfaz con el hardware. Los algoritmos utilizados en la implementación de la metodología MCSA fueron desarrollados en Matlab/Simulink®. El sistema de adquisición DataQ® DI-730-USB permite el registro y visualización de las tres corrientes de fase provenientes de tres pinzas AC/DC de efecto hall que permiten la adquisición de la corriente de los conductores de alimentación del motor a una frecuencia de muestreo de 5 kHz.

Resultados obtenidos cuando se presenta un corto circuito en el estator

El cortocircuito se emuló construyendo el devanado de una fase del estator con varios terminales accesibles para variar el nivel de severidad de la falla inducida. Los niveles de severidad que se establecieron corresponden al 2%, 5% y 10% de espiras de una fase cortocircuitadas. Para simular

diferentes condiciones de operación; una carga es aplicada al motor obteniéndose el 75% y 85% de la corriente nominal del mismo.

Análisis del espectro de corriente

Caso 1. Corto circuito sin carga acoplada

La figura 2 muestra las componentes del espectro de la corriente de una de las fases del motor sin carga acoplada para un ancho de banda entre 500 y 600 Hz. La densidad espectral de potencia entre 0 y 2.500 Hz muestra solo la activación de una frecuencia alrededor de 540 Hz, entre las frecuencias reportadas en distintos artículos. Teniendo en cuenta este resultado, se espera la activación de esta componente para condiciones de carga superiores.

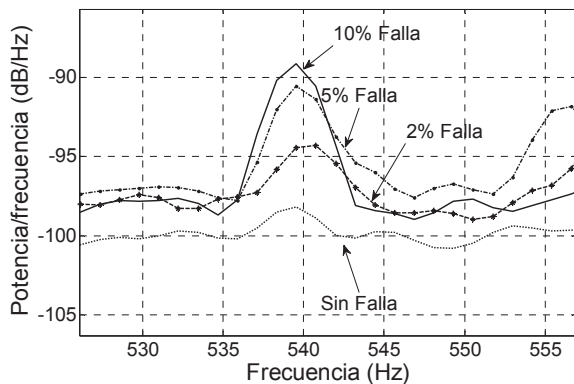


Figura 2 Densidad espectral de potencia alrededor de 540 Hz para detección de corto, motor en vacío

La severidad de la falla de corto circuito corresponde a 2%, 5% y 10% de las espiras de una fase en corto circuito.

Caso 2. Corto circuito con 75% de carga acoplada

Otro experimento es llevado a cabo en condiciones similares a las del caso uno, con una carga acoplada al motor, representando el 75% de la corriente nominal del mismo. Los datos fueron tomados para las severidades de 2%, 5% y 10%

de espiras cortocircuitadas. Como se esperaba, a partir del caso 1, la amplitud de la componente espectral en 540 Hz muestra un comportamiento consistente con el grado de severidad, mostrando una variación máxima de 8 dB entre la condición normal y el mayor grado de severidad (10% espiras cortocircuitadas). Sin embargo, una variación de esta misma magnitud, o similar puede ser observada en otras componentes que no están relacionadas con la falla de corto circuito, lo que hace que la sensibilidad del indicador seleccionado no sea satisfactoria para un diagnóstico confiable.

Caso 3. Corto circuito con 85% de carga acoplada

Un tercer experimento es llevado a cabo para evaluar el mismo indicador bajo una condición de carga de 85% de la corriente nominal, con los mismos porcentajes de espiras cortocircuitadas (2%, 5% y 10%). Las pruebas muestran que no existen componentes relevantes en el rango seleccionado entre 500 y 600 Hz, por lo que este rango, bajo una elevada condición de carga no es una elección apropiada para detectar las condiciones de falla inducidas en el banco de pruebas, ya que a esta condición de carga las componentes espectrales han desaparecido.

Con base en los resultados previos, puede concluirse que seleccionar una frecuencia de las decenas que sugiere la teoría como indicador de falla no es garantía de una detección confiable bajo todos los regímenes de carga del motor. Adicionalmente se concluye que incrementar la carga del motor atenúa las componentes f_{st} , haciendo más difícil el obtener resultados adecuados en la detección del corto circuito usando la metodología MCSA.

Componente de Secuencia Negativa

La búsqueda de un indicador que no deteriore su capacidad de detección de fallas a medida que se incrementa el nivel de carga del motor lleva al uso de la componente de secuencia negativa de las corrientes del motor trifásico. Un algoritmo

de extracción de es implementado en Simulink de Matlab, empleando como entradas los mismos datos capturados para el análisis MCSA previo. La descripción de las condiciones experimentales para los tres casos siguientes corresponde con la de los casos en el análisis MCSA, por lo que a continuación se muestran los resultados obtenidos.

Caso 1. Corto circuito sin carga acoplada

La figura 3 muestra las componentes para cada una de las severidades, explícitas en la figura.

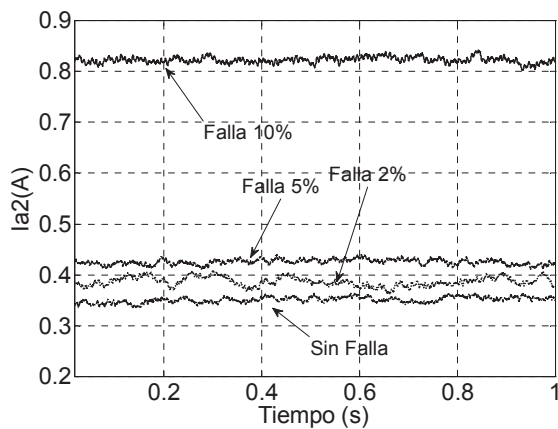


Figura 3 Componente secuencial negativa para el motor en vacío

Para una condición de operación sin carga, se obtiene un indicador claro de presencia de falla usando el valor de . Los valores de la componente de secuencia negativa que se aprecian en las figuras son relativamente elevados, dado que la corriente nominal del motor es 7 A. Esto se debe al acumulado de los desbalances inherentes de la red de alimentación, del motor, y de los sensores de corriente empleados.

Caso 2. Corto circuito con 75% de carga acoplada

Los valores de , aunque distintos a los del caso 1, por la adición de carga al motor, ofrecen una distinción clara del nivel de severidad de la falla de corto circuito (Ver Tabla 1).

Caso 3. Corto circuito con 85% de carga acoplada

Nuevamente, los valores de se incrementaron por la presencia de una mayor carga, pero aún así permiten distinguir tanto la presencia de falla, como el grado de severidad de la misma (Ver tabla 1).

Los resultados previos permiten concluir que existe un leve incremento en el valor de cuando la carga es incrementada. Esto significa que no habrá un solo valor de que caracterice a la condición normal del motor, sino que este valor dependerá del nivel de carga al que esté sometido el motor. La tabla 1 presenta los valores medios de para todos los niveles de severidad inducidos y los niveles de carga.

Tabla 1 Valor medio de para los casos del experimento

Severidad de Falla	(A)		
	0% Carga	75% Carga	85% Carga
Condición Normal	0,35	0,37	0,72
2% Falla	0,39	0,40	0,79
5% Falla	0,43	0,45	0,82
10% Falla	0,82	0,84	0,85

Resultados obtenidos cuando se presentan barras rotas

Para emular las condiciones de esta falla, las barras del rotor fueron perforadas progresivamente de tal forma que el nivel de severidad del daño está determinado por el número de barras perforadas. Así, tres niveles de severidad fueron inducidos, correspondientes a 1, 2 y 3 barras rotas.

Caso 1. Barras Rotas sin carga acoplada

Este experimento es desarrollado con el fin de realizar la detección de barras rotas en el rotor, utilizando MCSA cuando el motor opera sin carga. La literatura reporta que el espectro de corriente en presencia de barras rotas presenta frecuencias alrededor de la fundamental. Cuando el motor está

operando sin carga y usando (3) se obtienen las frecuencias de 59,5 y 60,5 Hz. Como se muestra en la figura 4, las anteriores frecuencias no presentan un cambio sustancial en magnitud con la severidad de la falla, que en este caso corresponde a 1, 2 y 3 barras rotas. Esto permite concluir que cuando el motor opera sin carga no es posible discriminar los distintos niveles de severidad de barras rotas y más aún la detección de la falla.

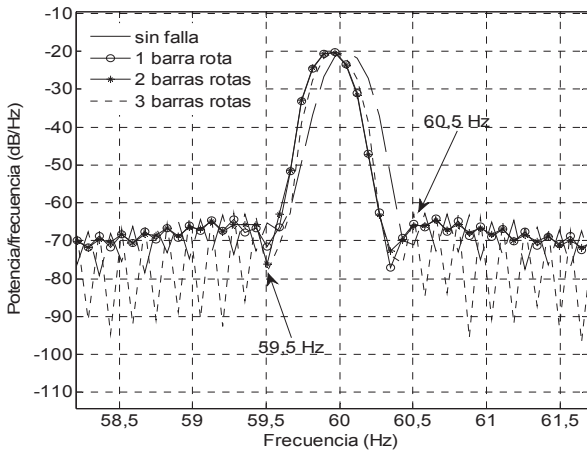


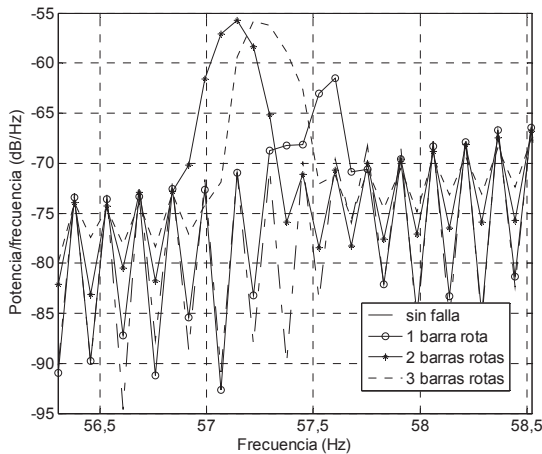
Figura 4 Densidad espectral de potencia de la corriente del motor en vacío cuando hay barras rotas en el rotor

Caso 2. Barras Rotas con 75% de carga acoplada

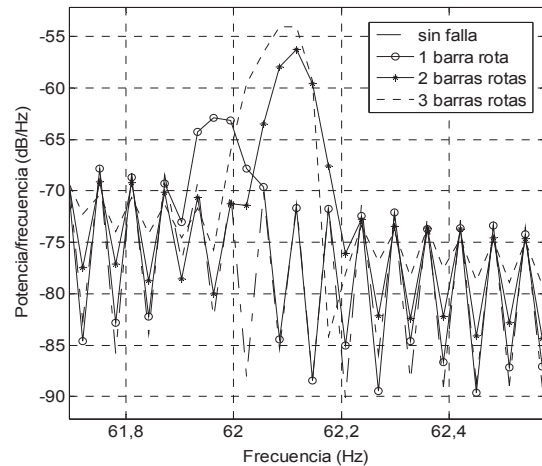
Esta prueba se realiza bajo las mismas condiciones de severidad de falla del caso 1, y con una carga acoplada al motor correspondiente al 75% de la corriente nominal. En la figura 5 puede observarse las bandas laterales producidas por la falla inducida. El incremento de la carga produce un incremento en la energía concentrada alrededor de la frecuencia de falla seleccionada. También se observa que los indicadores presentan un comportamiento consistente con la severidad de la falla inducida y que existe una variación máxima de 15 dB/Hz entre las amplitudes correspondientes a la condición normal y la máxima condición de falla, en este régimen de carga.

Caso 3. Barras Rotas con 85% de carga acoplada

Un tercer experimento se ejecuta con una carga correspondiente al 85% de la corriente nominal del motor, y los mismos niveles de falla utilizados en los casos 1 y 2. Como se observa en la figuras 6a y 6b, las bandas laterales se diferencian claramente y presentan un aumento máximo de aproximadamente 20dB/Hz entre la condición normal y el escenario de falla más severo.



a)



b)

Figura 5 Bandas laterales de la densidad espectral de potencia de la corriente del motor, asociadas a barras rotas con 75% de carga acoplada al motor. a) Banda lateral izquierda b) banda lateral derecha

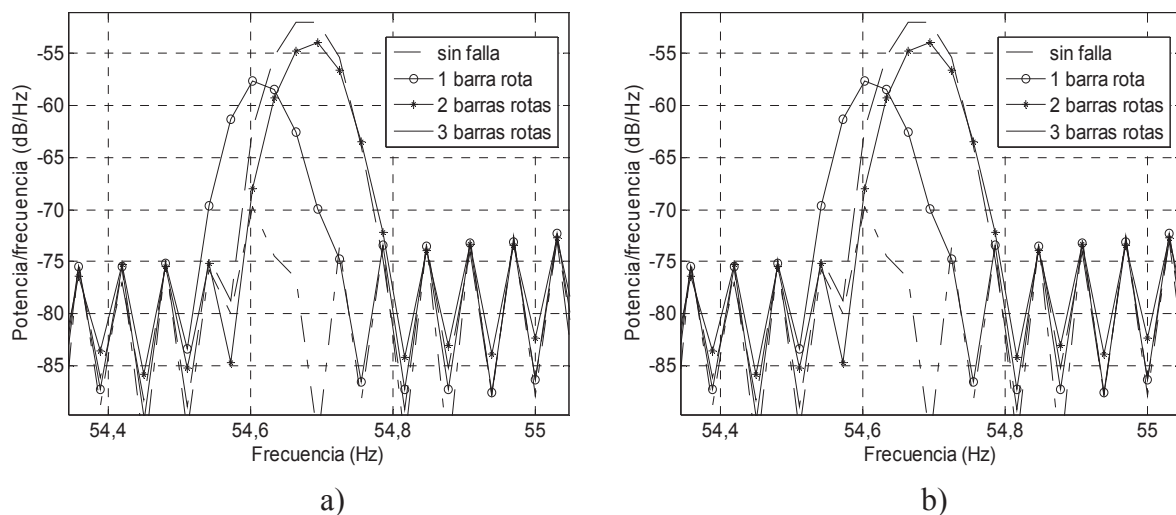


Figura 6 Bandas laterales de la densidad espectral de potencia de la corriente del motor, asociadas con barras rotas con 85% de carga acoplada al motor. a) Banda lateral izquierda. b) Banda lateral derecha

Con base en los anteriores resultados, se concluye que es posible realizar un seguimiento confiable de la condición de las barras del rotor utilizando MCSA, siempre y cuando el motor esté funcionando bajo una condición de carga significativa. Además, tal como se encuentra en la experimentación, el aumento de la carga del motor conduce a la aparición de bandas laterales alrededor de frecuencias relacionadas tanto a la falla de barras rotas, como a excentricidad del entrehierro. Sin embargo, las bandas laterales en el rango de 56 a 66 Hz se consideran las más apropiadas para la detección de la falla de barras rotas en las condiciones especificadas del experimento.

Resultados obtenidos cuando se presenta excentricidad del rotor

Para inducir esta falla en el motor, se agregó en forma progresiva una masa extra de 4 gramos al rotor, generando tres niveles de severidad. *Severidad 1*, *Severidad 2* y *Severidad 3* corresponden a masas de 4 gramos, 8 gramos y 12 gramos, respectivamente.

Caso 1. Excentricidad sin carga acoplada

En el primer experimento, se indujo excentricidad en los tres niveles descritos con el motor operando sin carga. Dentro de las posibles frecuencias determinadas usando (5) la experimentación mostró que el indicador correspondiente a la amplitud de la componente de 120 Hz es el más significativo en cuanto al incremento de amplitud en presencia de los diferentes grados de severidad. La figura 7 muestra la densidad espectral de potencia cercana a 120 Hz, en la cual se observa la consistencia del indicador de acuerdo con el incremento de la excentricidad del entrehierro. Existe una variación máxima de 20 dB/Hz entre la amplitud de la componente sin falla y la amplitud con el grado más alto de severidad inducido.

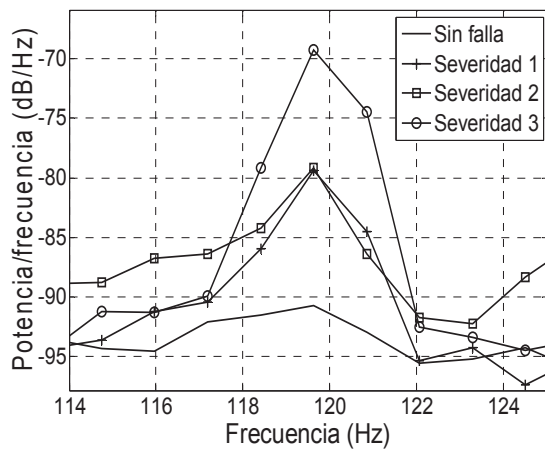


Figura 7 Densidad espectral de potencia de la corriente, para la falla de excentricidad con el motor en vacío

Caso 2. Excentricidad con 75% de carga acoplada

Bajo el mismo procedimiento descrito previamente, se realizó la adquisición de los datos con una carga acoplada que representa el 75% de la corriente nominal del motor. Aunque para esta situación, al igual que cuando el motor está en vacío, se presenta una notable activación de la componente alrededor de 120 Hz (debido al incremento del deslizamiento con la carga), la relación de amplitudes con la severidad de la falla de excentricidad inducida no es consistente. Se realiza el experimento y la toma de datos bajo las mismas condiciones y se obtienen resultados que revelan la presencia de la falla, por la activación de una componente alrededor de 120 Hz, pero no es posible distinguir los grados de severidad, ante esta condición de carga.

Caso 3. Excentricidad con 85% de carga acoplada

Una vez más, se realiza el mismo protocolo de pruebas, esta vez con una carga acoplada al motor de inducción correspondiente al 85% de la corriente nominal. Nuevamente, se obtiene, bajo las tres condiciones de falla la activación de las

componentes seleccionada de 120 Hz, pero esta componente aunque revela la presencia de la falla de excentricidad, no permite reconocer de forma consistente los grados de severidad de la falla bajo un régimen de carga elevado.

Se concluye que la detección de la excentricidad del entrehierro puede determinarse usando la metodología MCSA. Sin embargo, no pueden elaborarse inferencias acerca de la severidad de la misma con base en la amplitud de la componente de frecuencia seleccionada como indicador de falla, ya que ésta es susceptible a variaciones en la amplitud que no pueden predecirse con la adición de carga.

Conclusiones

En este trabajo se validó de forma experimental la metodología MCSA, para un motor de inducción trifásico de 4 polos y 2 HP, con el fin de evaluar su capacidad para detectar con efectividad las fallas correspondientes a corto circuito en el estator, barras de rotas y excentricidad del entrehierro. Se concluye que la condición de la carga del motor juega un papel determinante en la capacidad de detección de la técnica ante los diferentes tipos de falla. Así, la adición de carga dificulta la detección de las fallas de corto circuito en el estator y excentricidad del entrehierro, mientras que favorece la detección de fallas por barras rotas. Se seleccionaron determinadas frecuencias como indicadores de falla a las cuales se les realizó un seguimiento desde la condición normal.

Para la prueba de corto circuito se seleccionó un indicador independiente de otros tipos de falla, efectivo en condiciones de carga del motor muy baja y con debilidades evidentes ante la adición de carga. Se estudió la técnica de la componente de secuencia negativa de un sistema trifásico y se comprobó la efectividad de ésta para la discriminación de la severidad de la falla de corto circuito en diferentes condiciones de carga.

La experimentación con la falla de barras rotas arrojó resultados satisfactorios, especialmente en condiciones de carga reales (75%-85%), donde

se logró una identificación plena de la falla, y de los grados de severidad inducidos.

Finalmente, la detección de excentricidad usando MCSA resultó ser exitosa, al igual que la del corto circuito en el estator, en condiciones de carga muy baja. La adición de carga deterioró gravemente la concordancia de la amplitud de la carga con el grado de severidad inducido, por lo que no se logró establecer una relación cualitativa entre la amplitud obtenida del indicador seleccionado y el grado de severidad.

Referencias

1. O. Ojo, O. Osaloni, P. Kshirsagar. *Models for the control and simulation of synchronous type machine drives under various fault conditions*. Conference Record Ind. Applicat. Conf. 37th IAS Annual Meeting. Pittsburgh, USA. 2002. pp. 1533-1540.
2. M. Awadallah, M. Morcos. "ANFIS-based diagnosis and location of stator interturn faults in PM brushless DC motors". *IEEE Trans. Energy Conversion*. Vol. 19. 2004. pp. 795-796.
3. A. Bonnett, G. Soukup. "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors". *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 28. 1992. pp. 921-937.
4. S. Nandi, H. Toliyat, Li. Xiaodong. "Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors-a review". *IEEE Trans. Energy Convers.* Vol. 20. 2005. pp. 719-729.
5. S. Williamson, K. Mirzoian. "Analysis of Cage Induction Motors with Stator Winding Faults." *IEEE Trans. Power App. Syst.* Vol. PAS-104. 1985. pp. 1838-1842.
6. W. Thomson. *On-line MCSA to diagnose shorted turns in low voltage stator windings of 3-phase induction motors prior to failure*. Electric Machines and Drives Conference. IEMDC 2001. IEEE International. Cambridge, USA. 2001. pp. 891-898.
7. F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni, P. Vas. *AI techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect*. Conf. Rec. 34th IAS Annu. Meeting. San Diego, USA. 1996. pp. 655-662.
8. N. Elkasabgy, A. Eastham, G. Dawson. "Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine." *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 22. 1992. pp. 165-171.
9. W. Thomson, M. Fenger. *Industrial application of current signature analysis to diagnose faults in 3-phase squirrel cage induction motor*. Pulp and Paper Industry Technical Conference 2000. Atlanta, USA. pp. 205-211.
10. F. Filippetti, G. Franceschini, C. Tassoni, P. Vas. *AI techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect*. Industry Applications Conference. 31st IAS Annual Meeting. San Diego, USA. Vol. 1. 1996. pp. 655-662.
11. J. Cameron, W. Thomson, A. Dow. "Vibration and current monitoring for detecting airgap eccentricity in large induction motors." *Proc. Inst. Elect. Eng. B*. Vol. 133. 1986. pp. 155-163.
12. D. Dorrell, W. Thomson, S. Roach. "Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors." *IEEE Trans. Ind. Appl.* Vol. 33. 1997. pp. 24-34.
13. R. Obaid, T. Habetler, D. Gritter. *A simplified technique for detecting mechanical faults using stator current in small induction motors*. Ind Applicat Conf. 2000. Conference Record of the 2000 IEEE. Rome, Italy. Vol. 1. 2000. pp. 479-483.