

Diagnóstico de falla por barra de rota basado en la SWT y análisis de dimensión fractal en motor de inducción alimentado por VSD

Broken rotor bar fault diagnosis based on synchrosqueezing wavelet transform and fractal dimension analysis in VSD-fed induction motor

Jaime Osvaldo Landin-Martinez¹, Eduardo Cabal-Yepez¹

¹Multidisciplinary Studies Department, Engineering Division, Campus Irapuato-Salamanca, University of Guanajuato, Guanajuato, Mexico. jo.landinmartinez@ugto.mx¹, eduardo@mecamex.net²

Resumen

La señal de vibración sin procesar de un motor de inducción trifásico (TIM, *three phase induction motor*) contiene una gran cantidad de información que representa no solo la condición de operación, sino también ruido debido a variables no controlables. Las técnicas de eliminación de ruido son muy importantes para el diagnóstico de fallas, y los algoritmos de tiempo-frecuencia (TF, *Time-Frequency*) de alta resolución, como la transformada de compresión sincronizada basada en ondas (SWT, *synchrosqueezing wavelet transform*) tiene una gran importancia, ya que, permite extraer solo la señal de interés que normalmente se encuentra oculta entre ruido intenso. En este trabajo, se propone una metodología novedosa para la detección de barra rota (BRB, *broken rotor bar*) en un TIM durante los regímenes de operación de estado estable y operando velocidad variable controlada por un VSD (VSD, *variable speed drives*). Consta de dos pasos principales. En el primero se reduce el ruido a través de la descomposición de bandas por SWT y la selección de bandas que contiene la señal de interés, en los tres ejes de vibración. En el segundo, se lleva a cabo un análisis utilizando la teoría de la dimensión fractal (FD, *fractal dimension*), para la extracción de características. Finalmente, la clasificación consta de un sencillo estructura IF-ELSE, que determina el estado saludable, BRB a 30Hz y BRB a 60Hz. Se incluyen simulaciones numéricas e investigaciones experimentales para ilustrar la viabilidad y el rendimiento de utilizar este método, que obtuvo un 100% de eficiencia en la etapa de validación.

Palabras clave: Eliminación de ruido; dimensión fractal; diagnóstico de falla; *synchrosqueezing*; barra rota; VSD.

Introducción

Las aplicaciones industriales que requieren control de velocidad han ido en aumento en los últimos años y es más común el uso de VSD para alimentar TIM's. Además, de todas las fallas que puede desarrollar un TIM, la presencia de barras de rotor rotas es una de las más difíciles de detectar ya que el motor sigue funcionando aparentemente de manera normal. La transformada de Fourier de tiempo corto (STFT) [1], la transformada por ondoletas (WT) [2] y la descomposición en modo empírico (EMD) [2] son técnicas de análisis de vibraciones en TF más utilizada para el procesamiento de estas señales y diagnóstico de fallas en los TIM's [1]. Recientemente, Daubechies et al [3] propusieron un método novedoso de TF llamado *synchrosqueezing* basado en la WT [3]. Descompone una señal en algunos componentes frecuenciales y proporciona una definición matemática para las funciones. Este documento, presenta una metodología de diagnóstico basada en eliminación de ruido en señales de vibración triaxial con el uso de SWT, para diagnóstico de falla por BRB.

Metodología

La metodología novedosa que se propone para el diagnóstico de BRB presentada en la Figura 1(a), en la primer parte, la señal original se obtiene de la adquisición de señales de vibración de un TIM de 1 hp (modelo WEG 00136APE48T) con un acelerómetro triaxial MEMS (MEMS, *microelectromechanical systems*) modelo LIS3L02AS4 de STMicroelectronics con una frecuencia de muestreo de 3kHz. El TIM utilizado tiene dos polos, 28 barras. Para el experimento, una barra es rota para provocar la condición BRB. Se obtiene un total de cuatro estados de operación: condición sana y de BRB, cada una con alimentación de 220 Vac a 30 y a 60 Hz por VSD, esto, con el objetivo de determinar si la metodología permite la identificación de BRB ante variaciones en la velocidad. Se realiza una ventana de tiempo de 40 s para obtener 120,000 muestras, en los tres ejes para cada condición en estado estacionario. La carga mecánica aplicada es la de un alternador ordinario, que representa un cuarto (25%) de la carga nominal del motor. La etapa del uso de WFT tiene objetivo de reducir la reducir la cantidad de información espectral a procesar, se realiza con una descomposición en bandas de frecuencia (FB, *frequency bands*) por SWT de la señal de vibración triaxial.

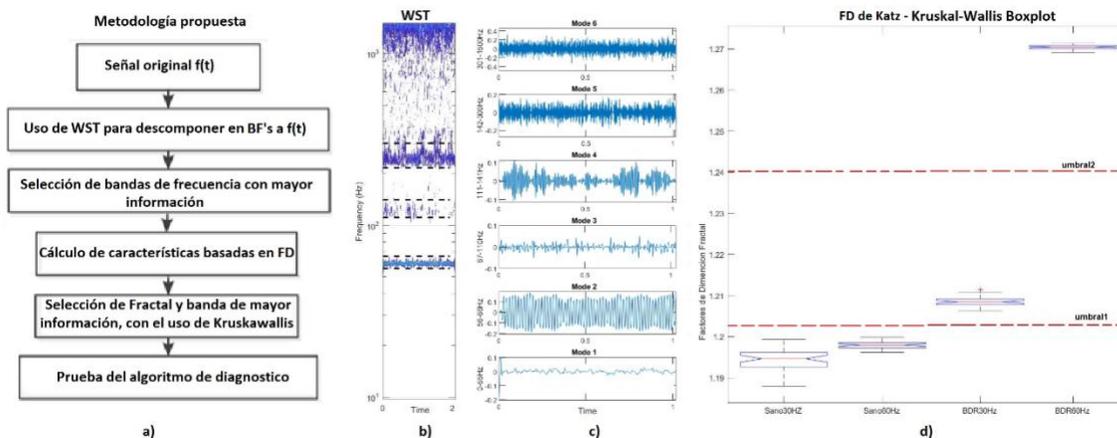


Figura 1. Metodología propuesta a), WST de la señal de vibración con BRB a 60Hz b), descomposición en bandas de frecuencia c), y diagrama de cajas y bigotes por kruskalwallis de la información del modo-2 analizada con algoritmo FD de Katz d).

Después de dividir en el dominio de TF, se aplica un umbral universal modificado a las señales de vibración para cada eje, y así , eliminar el ruido multivariante de los datos. Posteriormente se procesan las señales y se extraen de características de cada, calculando factores de DF con técnicas no-lineales como son: los algoritmos fractales de Servcik, Petrocian y Katz [4]. En la DF de Katz definida en [4] se encontró un error de definición, la ec. (1) muestra la corrección el factor $\log(\frac{d}{L})$ por $\log(\frac{d}{L})'$ corregido.

$$D = \frac{\log(N)}{\log(N) + \log(\frac{d}{L})'} \quad (1)$$



Resultados y conclusiones

De las señales en la Fig. 1(c) se extraen 3 FB de la STW del eje “x”, “y” y “z”, Posteriormente se aplica a cada una de estas FB los tres algoritmos fractales para la extracción de características individuales de cada una. Esto se lleva a cabo con un análisis estadístico con la técnica de cajas y bigotes de kruskalwallis. En la Fig. 2(d) se muestran el resultado más favorable encontrado. La FB seleccionada es el modo 2(56 a 66Hz) de la Fig. 2(c) del eje “x”, era la FB con más información que permitía una mejor diferenciación entre condiciones de operación, permitiendo así desprestigiar la información contenida en los otros ejes y las otras FB. Por último los valores en el Factor de Probabilidad (PF) permite seleccionar entre los tres algoritmos fractales. Los PF fueron $1.0692e-23$, $2.2054e-06$ y $3.0670e-06$, para Katz, Petrocian y Sevicik respectivamente. Esto nos indica que el algoritmo de Katz es el que más diferencias encuentra entre los datos de la banda seleccionada para la señal del eje “x”. Con esta información se establecieron dos valores de umbral para los FD de las señales $umbral1=1.203069$ y $umbral2=1.240245$; con los que se estableció un sencillo clasificador IF-ELSEIF-ELSE, con los que se pudo clasificar las condiciones de sano 30 y 60Hz, BRB 30Hz y BRB 60Hz, con una eficiencia del 100% de eficiencia. Cabe resaltar que la metodología es incapaz de diferenciar las condiciones de operación sano a 30 o 60Hz, por lo tanto, el clasificador las considera como sanas independientemente de la velocidad con la que operen. Como objetivo se pretende mejorar la metodología para que sea capaz de diferenciar entre estas condiciones.

Referencias

- [1] Romero-Troncoso, R. J.; Morinigo-Sotelo, D.; Duque-Perez, O.; Osornio-Rios, R. A.; Ibarra-Manzano, M. A.; (2014). “Broken rotor bar detection in VSD-fed induction motors at startup by high-resolution spectral analysis”. 1848. doi:10.1109/ICELMACH.20
- [2] Camarena-Martínez, D.; Osornio-Rios, R.; Romero-Troncoso, R.J.; García-Pérez, A. (2015). “Fused Empirical Mode Decomposition and MUSIC Algorithms for Detecting Multiple Combined Faults in Induction Motors”. doi:10.1016/S1665-6423(15)30014-6
- [3] I. Daubechies, J. Lu, and H. T. Wu, “Synchrosqueezed wavelet transforms: an empirical mode decomposition-like tool,” Applied and computational harmonic analysis, vol. 30, pp. 243-261, February 2011.
- [4] Chang-Ting Sh. “Signal Pattern Recognition Based on Fractal Features and Machine Learning”. doi:10.3390/app808132

