

Detección de barras rotas en motores de inducción mediante un clasificador de lógica difusa y el cálculo de curtosis y energía de la señal

Detection of Broken Rotor Bars in Induction Motors by means of a Fuzzy Logic Classifier and the Calculation of Kurtosis and Signal Energy

Ana Laura Martínez-Herrera¹

¹Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México
martinez.al@ugto.mx¹

Resumen

La búsqueda de técnicas para la detección de fallas en motores de inducción que sean simples y de costo computacional bajo sigue siendo de gran interés entre los investigadores. Este trabajo presenta una metodología basada en el análisis de la señal de corriente del motor en su transitorio de arranque, el cálculo de las características de curtosis y energía de la señal de corriente y un clasificador de lógica difusa para la detección de barras rotas en un motor de inducción. El enfoque propuesto presenta una complejidad y costo computacional bajos. Los resultados experimentales muestran una alta efectividad en la detección de tres estados del motor: sano, una barra rota y dos barras rotas.

Palabras clave: Motores de inducción; barras rotas; señal de corriente; transitorio de arranque; lógica difusa; curtosis; potencia.

Introducción

Actualmente los motores de inducción (MI) son parte fundamental en la mayoría de los procesos de producción, entre un 80% y un 90% de las industrias utilizan estos motores por su gran variedad de aplicaciones, su robustez, confiabilidad y el poco mantenimiento que necesitan para operar (Liu & Bazzi, 2017). Por esta razón, cualquier falla que presenten repercutirá en los costos de producción, ya sea por el tiempo de inactividad en la planta o bien, daño a maquinaria dependiente o un enorme costo por un excesivo consumo de energía eléctrica.

La falla de barras rotas representa un reto dado que en presencia de esta falla el motor trabaja de forma normal por lo que detectar la falla a tiempo representa una dificultad. Un gran número de metodologías han sido desarrolladas con la finalidad de detectar fallas en motores de inducción, entre ellas se encuentran el análisis de vibraciones, análisis de flujo magnético y de voltaje, análisis de la señal de corriente del motor (MCSA) entre otras (Sbaa et al., 2020). El MCSA es una de las técnicas que se ha utilizado con mayor frecuencia para la detección y diagnóstico de fallas y es considerada la más popular, no solo para identificar fallas. A esta técnica se le considera no invasiva al no ser necesario parar la operación de la máquina de inducción para realizar su diagnóstico, esto evita que existan pérdidas ya sea monetarias o de tiempo, y es la razón principal por la que es comúnmente utilizada. Entre los trabajos basados en MCSA encontramos procesamiento y análisis de la señal a través de la transformada de Fourier (FFT) (Rivera-Guillen et al., 2018), uso de representaciones tiempo-frecuencia como la transformada wavelet (Karnavas et al., 2020; Ordaz-Moreno et al., 2008), la distribución Wigner-Ville (Climente-Alarcon et al., 2014; Martínez-Herrera et al., 2014), redes neuronales (Guedidi et al., 2020; Guo et al., 2018).

En su mayoría las técnicas mencionadas anteriormente ofrecen una identificación eficiente de la falla de barras rotas, sin embargo, presentan una complejidad o costo computacional elevado y en algunos casos la combinación de técnicas es necesario para obtener resultados satisfactorios. En este trabajo el análisis de la señal de corriente durante el transitorio de arranque de un MI se lleva a cabo a través del cómputo de las características de curtosis y energía de la señal, mismas que son entradas de un clasificador difuso capaz de discernir entre tres estados del motor de inducción: sano, una barra rota y dos barras rotas. La metodología propuesta tiene un costo y complejidad computacional mucho menor comparada con otras técnicas presentes en la literatura para la detección de fallas en motores de inducción.



Metodología Propuesta

En este trabajo se consideran tres estados de un MI: motor sano, motor con una barra rota y motor con dos barras rotas. Las condiciones de falla son generadas artificialmente en un motor de inducción trifásico de 1-HP con dos polos y 28 barras en el que se realizaron perforaciones para generar las fallas de una y dos barras rotas sin causar daño adicional al rotor del motor. La señal de corriente del motor es adquirida mediante un sensor de corriente y condicionada por el sistema de adquisición de datos el cual tiene una frecuencia de adquisición de 1.5kHz. En total se tienen 20 señales de prueba para cada estado del motor con un total de 4096 muestras cada una.

La figura 1 muestra la metodología propuesta para detectar y clasificar la falla de barras rotas en un MI a través del análisis de su señal de corriente durante el transitorio de arranque por medio del cálculo de curtosis y energía de la señal y un clasificador difuso.

Las características de curtosis y energía de la señal son calculadas mediante las ecuaciones (1) y (2) respectivamente..

$$Kurt[X] = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^4}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2\right)^2} = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \tag{1}$$

$$E = \sum_{i=1}^N |x(i)|^2 \tag{2}$$

donde N es el número de muestras, x_i es la señal en tiempo para $i = 1, 2, \dots, N$ y μ es la media del evento aleatorio $X=[x_1, x_2, x_3, \dots, x_N]$.

Los datos de curtosis y energía de la señal son entradas de un clasificador de lógica difusa con las siguientes características: inferencia difusa de tipo Mamdani, técnica de defuzzificación centroide y tres reglas if-then con oraciones implícitas de una entrada/una salida para simplificar y mejorar el rendimiento del clasificador.

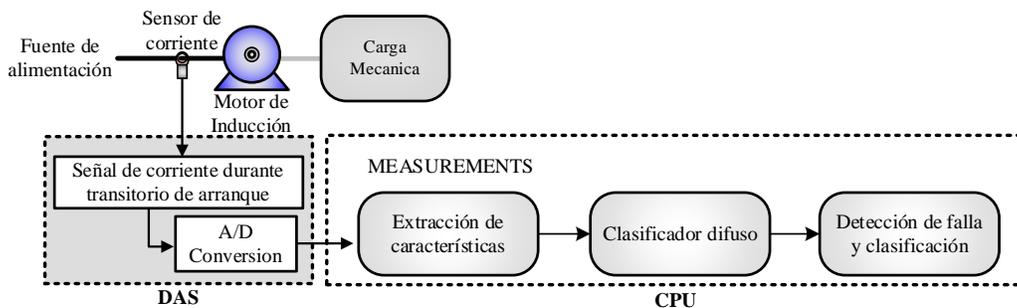


Figura 1. Diagrama a bloques de la metodología propuesta para la detección de barras rotas en un MI.

El método propuesto utiliza un conjunto de datos del tipo hold-out en el que 60 pruebas son realizadas para cada estado del motor. Los primeros 42 experimentos de cada conjunto de datos son utilizados para el entrenamiento del sistema, mientras que el resto se utiliza para probar la eficacia del método propuesto.

Resultados y conclusiones

La Tabla 1 muestra los resultados de la metodología propuesta en forma de una matriz de confusión para la identificación y clasificación del estado de un MI en sano, una barra rota (1BR) y dos barras rotas (2BR). Los resultados obtenidos muestran que la metodología propuesta tiene una efectividad del 100% en la identificación y clasificación de los estados antes mencionados.

Tabla 1. Matriz de confusión para la detección y clasificación de barras rotas a través de un clasificador difuso y las características de curtosis y energía de la señal

Condición del MI	Sano	1BR	2BR	Efectividad
Sano	60	0	0	100%
1BR	0	60	0	100%
2BR	0	0	60	100%

Los resultados obtenidos durante la experimentación demuestran que la metodología propuesta proporciona resultados confiables en la detección y clasificación de tres estados del MI: sano, una barra rota y dos barras rotas con una efectividad del 100% por medio del cálculo de las características de curtosis y energía de la señal calculadas en el dominio del tiempo.

Referencias

Climente-Alarcon, V., Antonino-Daviu, J. A., Riera-Guasp, M., & Vlcek, M. (2014). Induction Motor Diagnosis by Advanced Notch FIR Filters and the Wigner–Ville Distribution. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(8), 4217–4227. <https://doi.org/10.1109/TIE.2013.2286581>

Guedidi, A., Laala, W., Guettaf, A., & Zouzou, S. E. (2020). Diagnosis and Classification of broken bars fault using DWT and Artificial Neural Network without slip estimation. *2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICEPDS47235.2020.9249315>

Guo, S., Yang, T., Gao, W., & Zhang, C. (2018). A Novel Fault Diagnosis Method for Rotating Machinery Based on a Convolutional Neural Network. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5), 1429. <https://doi.org/10.3390/s18051429>

Karnavas, Y. L., Chasiotis, I. D., Drakaki, M., & Tziafettas, I. A. (2020). Recent Advances of Neural Network based Methods in Induction Motor Fault Diagnosis. *2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 1, 1411–1417. <https://doi.org/10.1109/ICEM49940.2020.9270873>

Liu, Y., & Bazzi, A. M. (2017). A review and comparison of fault detection and diagnosis methods for squirrel-cage induction motors: State of the art. *ISA Transactions*, 70, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2017.06.001>

Martinez-Herrera, A., Ledesma Carrillo, L., Lopez Ramirez, M., Salazar-Colores, S., Cabal-Yepez, E., & Garcia-Perez, A. (2014). Gabor and the Wigner-Ville transforms for broken rotor bars detection in induction motors. En *CONIELECOMP 2014—24th International Conference on Electronics, Communications and Computers*. <https://doi.org/10.1109/CONIELECOMP.2014.6808572>

Ordaz-Moreno, A., Romero-Troncoso, R. de J., Vite-Frias, J. A., Rivera-Gillen, J. R., & Garcia-Perez, A. (2008). Automatic Online Diagnosis Algorithm for Broken-Bar Detection on Induction Motors Based on Discrete Wavelet Transform for FPGA Implementation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(5), 2193–2202. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.918613>

Rivera-Guillen, J. R., De Santiago-Perez, J. J., Amezcua-Sanchez, J. P., Valtierra-Rodriguez, M., & Romero-Troncoso, R. J. (2018). Enhanced FFT-based method for incipient broken rotor bar detection in induction motors during the startup transient. *Measurement*, 124, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.04.039>

Sbaa, S., Bessous, N., Pusca, R., & Romary, R. (2020). A comparative study dedicated to rotor failure detection in induction motors using MCSA, DWT, and EMD techniques. *2020 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/ICEE49691.2020.9249774>

