

Resumen

A precise, general, non-invasive and automatic speed estimation method for MCSA steady-state diagnosis and efficiency estimation of induction motors in the 4.0 Industry.

by Jorge Bonet Jara

Hay dos aspectos cruciales a la hora de operar motores de inducción en la industria: la estimación de su eficiencia (para minimizar el consumo de energía) y su diagnóstico (para evitar paradas intempestivas y reducir los costes de mantenimiento). Para estimar la eficiencia del motor es necesario medir tensiones y corrientes. Por ello, resulta conveniente y muy útil utilizar la misma corriente para diagnosticar también el motor (Motor Current Signature Analysis: MCSA). En este sentido, la técnica MCSA más adecuada es aquella basada en la localización de armónicos de fallo en el espectro de la corriente de línea del estator en régimen permanente, puesto que esta es la condición de funcionamiento de la mayoría de los motores de inducción de la industria. Por otro lado, dado que la frecuencia de estos armónicos depende de la velocidad, resulta imprescindible conocer esta magnitud con precisión, ya que el conocimiento preciso de la velocidad de funcionamiento permite localizar correctamente los armónicos de fallo, y, por tanto, reducir las posibilidades de falsos positivos/negativos. A su vez, una medida precisa de la velocidad también permite calcular con precisión la potencia mecánica, lo que se traduce en una estimación más exacta del rendimiento del motor. Por último, para adaptarse a las necesidades de la Industria 4.0, en la que se monitoriza continuamente un gran número de motores, la velocidad no solo debe ser obtenida con gran precisión, sino también de manera no invasiva, automática (sin necesidad de un experto) y para cualquier motor de inducción. A este respecto, dado que la medición precisa de la velocidad a través de un sensor de eje (encóder) es invasiva y costosa, las técnicas de estimación de velocidad sin sensores (SSE en inglés) se convierten en la mejor opción.

En la primera parte de esta tesis se realiza un análisis exhaustivo de todas las familias de técnicas SSE presentes en la literatura técnica. Como se demuestra en ella, aquellos métodos basados en armónicos de ranura y armónicos laterales de frecuencia rotacional son los más prometedores, pues potencialmente pueden satisfacer todos los requisitos mencionados anteriormente. Sin embargo, como también se demuestra en esta parte, y hasta esta tesis, siempre había existido un compromiso entre la precisión y la aplicabilidad general del método. Por un lado, el uso de armónicos de ranura de rotor (RSH en inglés) proporciona una precisión mucho mayor para estimar la velocidad que los armónicos de banda lateral de frecuencia de rotación (RFSH en inglés), cuya imprecisión suele conducir a diagnósticos erróneos. Por otro lado, los métodos basados en RSHs son difíciles de implementar en dispositivos industriales, ya que requieren parámetros que suelen ser desconocidos, como el número de ranuras del rotor, a diferencia de los métodos basados en RFSHs, que sólo requieren el número de pares de polos.

En la segunda parte, y núcleo de esta tesis, se presenta una metodología que acaba con este compromiso entre precisión y aplicabilidad general, proporcionando así el primer método de estimación de velocidad preciso, general, no invasivo y automático para el diagnóstico en estado estacionario MCSA y la estimación de eficiencia de motores de inducción que operan en un contexto de Industria 4.0. Esto se consigue desarrollando una novedosa técnica basada en RSHs que, por primera vez en la literatura técnica, elimina la necesidad de conocer/estimar

el número de ranuras del rotor, lo que, como se ha mencionado anteriormente, había impedido hasta la fecha que estos métodos fueran de aplicación general. Esta técnica proporciona además un procedimiento fiable y automático para, de entre el elevado número de armónicos significativos presentes en el espectro de la corriente de línea de un motor de inducción, localizar la familia de RSHs. También de manera automática y sin la ayuda de un experto, la técnica es capaz de determinar los parámetros necesarios para estimar la velocidad a partir de los RSHs, utilizando únicamente medidas tomadas durante el funcionamiento normal del motor en régimen estacionario. La metodología es validada utilizando motores con diferentes características, diseños y condiciones de trabajo (alimentados directamente, alimentados por convertidor de frecuencia, diferentes niveles de carga, etc.), empleando para ello simulaciones, pruebas de laboratorio y 105 motores industriales. Además, se muestra un caso real de aplicación industrial en el que el algoritmo de estimación de velocidad es implementado en un sistema de monitorización continua del estado del motor mediante MCSA, lo que acaba conduciendo al descubrimiento de un nuevo fallo en motores sumergibles de pozo profundo: el desgaste de los anillos de cortocircuito. Por último, se presenta una segunda aplicación directa derivada del procedimiento fiable y automático de detección de RSHs: el uso de estos armónicos para diagnosticar, en fase temprana, cortocircuitos entre espiras en motores de inducción de bombas sumergibles de pozo profundo.