

Eficiencia de motores

Optimización del rendimiento durante la vida útil de los motores

Roelof Timmer, Mikko Helinko, Ritva Eskola



Los motores de alta eficiencia pueden alcanzar grandes reducciones del consumo de energía. Pero, además de la eficiencia, al optimizar el rendimiento de un motor durante toda su vida útil también hay que considerar otras características importantes, entre las cuales están su adecuación a la aplicación concreta, su correcto dimensionado y la fiabilidad de los devanados y cojinetes. ABB fabrica motores de calidad que no sólo son muy eficientes sino que además ofrecen una gran fiabilidad con disponibilidad permanente.

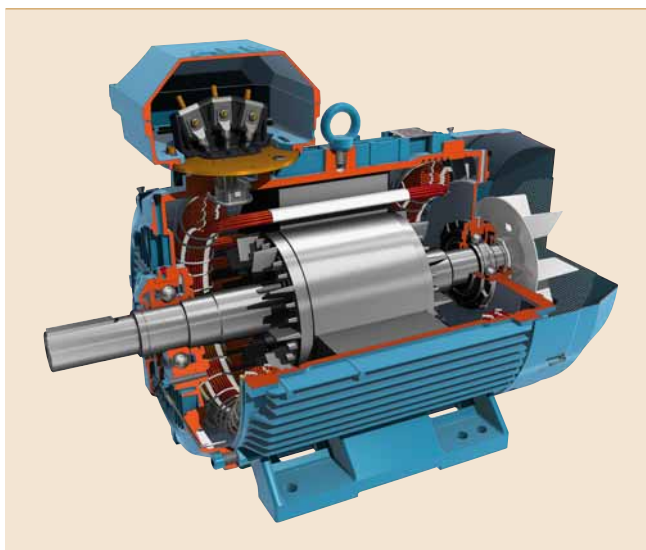
Productos eficientes energéticamente

Los motores de alta eficiencia pueden proporcionar importantes ventajas, como ayudar a reducir los costes energéticos y a limitar las emisiones de carbono. En la UE, la introducción del programa europeo de clasificación de la eficiencia ha concentrado la atención en la eficiencia energética. El programa clasifica los motores en niveles de eficiencia EFF1 a EFF3, donde EFF1 es el nivel más alto. El programa ha tenido mucho éxito, ya que ha reducido el número de motores comerciales de baja eficiencia; muchos consideran la clasificación EFF1 no sólo como una señal de eficiencia, sino también como un distintivo general de calidad. Actualmente se está perfeccionando el programa para armonizar los métodos de verificación de eficiencia, de modo que sea más fácil comparar los motores de distintos fabricantes.

ABB defiende desde hace mucho tiempo la necesidad de que los motores sean eficientes; desde siempre, su política ha consistido en ofrecer motores de alta eficiencia como norma, es decir, desde almacén y sin sobreprecio alguno. Lógicamente, cuando se introdujo el programa de la UE, todos los motores ABB quedaron clasificados en las dos categorías superiores de eficiencia; los motores EFF1 estaban de forma estándar en el programa de productos de ABB.

Diseñar y fabricar motores fiables, con buenas prestaciones de arranque y funcionamiento, implica conseguir un delicado equilibrio entre diversos factores: no sólo la eficiencia y los costes, sino también el diseño de cojinetes, ranuras y ventilador, el aumento de la temperatura, la vibración y el ruido. Sólo un equilibrio adecuado dará como resultado motores de alta calidad, eficientes y fiables, con peso óptimo y una larga vida útil. En lugar de centrarse sólo en la eficiencia, ABB prefiere un enfoque que comprende toda la vida útil de sus productos e intenta maximizar los beneficios y minimizar los costes asociados a los productos durante toda su vida útil. El enfoque de ciclo de vida se ocupa de la eficien-

Motor M3BP



cia y además resalta la importancia de la fiabilidad y de la disponibilidad. Durante el ciclo de vida de un dispositivo, la energía suele ser el mayor coste; lógicamente, el vertiginoso ascenso de los precios ha obligado a dirigir la atención a los costes de energía y a la eficiencia energética. En muchas partes del mundo, las autoridades están promoviendo programas para convencer a los usuarios industriales de que especifiquen motores de alta eficiencia. Esta situación ha llevado a algunos fabricantes a elevar el nivel de eficiencia de sus productos sin examinar otras áreas de rendimiento.

Diseño para la eficiencia

En opinión de ABB, la clave para fabricar motores eficientes reduciendo al mínimo los costes totales durante la vida útil es garantizar que en cada etapa de diseño y fabricación alcance una alta calidad.

Cuadro 1 Distribución de pérdidas en un motor ABB M3BP

Pérdidas no debidas a la carga	Pérdidas en el hierro del núcleo	18%
	Pérdidas de resistencia aerodinámica y fricción	10%
Pérdidas debidas a la carga	Pérdidas en el cobre del estator	34%
	Pérdidas en el rotor	24%
	Pérdidas de carga por dispersión	14%

La eficiencia de un motor mide la conversión de la energía eléctrica en trabajo útil. La energía que se pierde se convierte en calor. Para aumentar la eficiencia es preciso reducir estas pérdidas. Las pérdidas de los motores se pueden clasificar en cinco categorías principales. Dos de éstas –las pérdidas en el hierro del núcleo y las pérdidas por resistencia aerodinámica y fricción– se clasifican como pérdidas no relacionadas con la carga, ya que permanecen constantes con independencia de la misma. Las pérdidas relacionadas con la carga, es decir, que varían con ella, son las pérdi-

das en el cobre del estator, las pérdidas en el rotor y las pérdidas de carga por dispersión **Cuadro 1**. En todas estas pérdidas pueden influir diversas consideraciones de diseño y construcción, es decir, la calidad de los procesos de diseño y fabricación.

Las pérdidas en el hierro del núcleo se deben a la energía requerida para vencer la oposición del material del núcleo a la variación de los campos magnéticos. Los diseñadores pueden reducir estas pérdidas usando acero de mejor calidad y aumentando la longitud del núcleo, lo que reduce la densidad de flujo magnético.

Las pérdidas por resistencia aerodinámica y por fricción son causadas por la resistencia del aire y por el rozamiento de los cojinetes. En los motores de alta calidad, estas pérdidas se reducen seleccionando mejor los cojinetes y juntas y mejorando el diseño del flujo de aire y del ventilador. Éste ha de ser suficientemente grande para proporcionar una adecuada refrigeración, pero no demasiado grande, ya que se reduciría la eficiencia y aumentaría el ruido. En los motores de ABB, el tamaño de las paletas y el paso entre ellas varían según los modelos para obtener resultados óptimos.

De las pérdidas que varían con la carga, las pérdidas en el cobre del estator (conocidas como pérdidas I²R) son causadas por el calentamiento provocado por la circulación de corriente a través de la resistencia del devanado del estator. Entre las técnicas empleadas para reducir estas pérdidas está la

optimización del diseño de las ranuras del estator. Las laminaciones del estator deben ser de acero de baja pérdida, lo más uniformes y delgadas posibles, para maximizar la intensidad de los campos magnéticos. Deben estar alineadas cuidadosamente para garantizar que los canales sean rectos. Naturalmente, cuanto más delgadas sean las laminaciones, tanto más caras serán de producir; además, una gran precisión de alineamiento exige técnicas de producción más especializadas. Las pérdidas en el rotor están causadas por las corrientes en el mismo y por las pérdidas en el hierro. En los motores de alta eficiencia, estas pérdidas se reducen aumentando el tamaño de las barras conductoras y los anillos terminales para reducir la resistencia. Las pérdidas de carga por dispersión resultan del flujo de fugas inducidas por las corrientes de carga y se pueden reducir mejorando la forma geométrica de las ranuras.

Menores temperaturas significan más fiabilidad

Los motores que sólo funcionan ocasionalmente, o en aplicaciones no críticas, no tienen que ser extraordinariamente fiables. Evidentemente, una avería siempre es una perturbación, pero eso no implica que las consecuencias sean muy graves. Sin embargo, en algunos sectores y procesos la fiabilidad es de suma importancia. En procesos continuos como, por ejemplo, las aplicaciones de refrigeración en la industria del petróleo y gas o los accionamientos de máquinas de papel, se han de evitar a toda costa los tiempos muertos imprevistos. Una parada de sólo unos minutos puede costar tanto como un motor nuevo.

La fiabilidad también es importante para los fabricantes de equipos originales (OEM) que incluyen motores en sus propios productos. Si se avería un motor, los equipos de OEM serán considerados como poco fiables y la reputación del fabricante sufrirá las consecuencias.

ABB enfoca la fiabilidad del mismo modo que la eficiencia: la alta calidad, especialmente la de los materiales utilizados, es la base de la fiabilidad. Por término medio, los materiales representan el 55% del coste de un motor. Puesto que más de la mitad del coste total se va en materiales, es obvio que

los fabricantes que intenten reducir costes demasiado agresivamente, escatimarán en los materiales y sus productos serán menos fiables.

Las dos causas más frecuentes de averías de motores son los cojinetes y devanados, de modo que estos componentes son esenciales para determinar la fiabilidad global. En el caso de los cojinetes y devanados, la temperatura de operación en el interior del motor es el factor más importante sobre la vida útil del componente. Un motor eficiente y de alta calidad, funcionando a plena carga, puede experimentar un aumento normal de temperatura de 60–80°C, pero esta cifra puede llegar a ser de hasta 100°C en los motores de menor calidad. El aumento de temperatura puede ser mayor, sin provocar problemas, sólo en los motores diseñados especialmente para ello, que disponen de un sistema aislante apropiado que resiste las altas temperaturas. Para conseguir fiabilidad máxima es importante utilizar cojinetes de alta calidad **Cuadro 2**. Los diseñadores han de seleccionar el tipo de cojinete adecuado para la aplicación y la carga concreta y a continuación elaborar un régimen de engrase apropiado para la aplicación en las condiciones de operación. Dado que la grasa se degrada con las altas temperaturas, es importante limitar el aumento de temperatura. Una reducción de 10–15°C de la temperatura de operación debe duplicar, en teoría, la vida útil de la grasa del cojinete.

Las temperaturas internas excesivas también afectan a la vida útil de los devanados. En este caso, es el aislamiento en el hilo de cobre el que se degrada por efecto de las altas temperaturas. Un aumento de 10°C en la temperatura de operación puede reducir a la mitad la vida útil del devanado. Por esta razón, la mayoría de los motores se fabrican con aislamiento de Clase F (155°C), pero se diseñan para funcionar a temperaturas no superiores a las de Clase B (130°C). El aumento de temperatura es un aspecto del rendimiento de los motores que se investiga permanentemente **Cuadro 3**.

Otro factor de la fiabilidad del devanado es la tensión soportada, que mide la integridad del devanado. Los devanados suelen soportar una tensión en torno a 1.200 V, aunque se pueden suministrar motores que soportan

1.400 V o más si el devanado ha de resistir mayores picos de tensión, como es el caso de algunos accionamientos de velocidad variable **1**.

Asimismo, hay que tener presente que la fiabilidad también puede presentar aspectos distintos en diferentes entornos. En aplicaciones de motores en la industria del petróleo y gas, por ejemplo, la seguridad es fundamental para el propietario del proceso. Los motores funcionan generalmente en entornos muy duros y tienen que soportar condiciones extremas de calor o frío o ambientes polvorientos o húmedos. ABB ha acumulado una gran experiencia en el suministro de motores para

Cuadro 2 Lista de control de cojinetes

Condiciones de los cojinetes para una fiabilidad óptima del motor:

- Suministrados por un fabricante fiable
- Dimensionados adecuadamente para la carga y velocidad
- Holgura interna adecuada para la temperatura de operación
- Grasa adecuada para la temperatura de operación
- Ser reengrasables si existe un servicio de mantenimiento adecuado (en caso contrario suelen ser preferibles los cojinetes sellados de por vida)

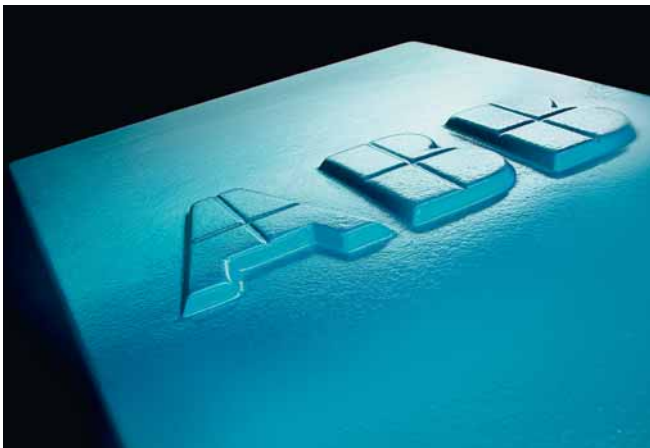
1 Características de un buen devanado:



Características de un buen devanado:

- Compacidad, con buen índice de relleno de ranuras
- Pequeña proyección saliente
- Hilo de cobre de alta calidad
- Sistemas de devanado de alta calidad
- Aislamiento de ranuras, sistemas de impregnación y sistemas de aislamiento de fases, de alta calidad

Productos eficientes energéticamente



los entornos convencionales de las industrias de transformación y para condiciones extremas. Esta experiencia se aprovecha para el desarrollo y fabricación de motores de alta calidad que no sólo cumplen las normas oficiales y las especificaciones de seguridad, sino que además funcionan con gran eficiencia y fiabilidad durante toda su vida útil.

Los motores de alta calidad funcionan mejor

Los motores eléctricos –los “mulos de carga” de la industria moderna– pueden contribuir mucho a los esfuerzos por reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Se estima que

los motores usan el 65% de la electricidad consumida por la industria y que generar electricidad para impulsar estos motores produce 37 millones de toneladas anuales de CO₂. Dada la magnitud de estas cifras, incluso un pequeño aumento en la eficiencia de cada motor tiene un impacto positivo a escala mundial.

A los usuarios se les ofrece también fuertes incentivos financieros para adquirir motores eficientes. Aunque los modelos de alta eficiencia se venden con un sobrepeso de 5–7% (tamaños mayores) o de 15–20% (tamaños más pequeños), la inversión se recupera rápidamente gracias al menor consumo

de energía. La energía utilizada por un motor durante su vida útil puede costar hasta 100 veces el precio de compra del motor.

Sin embargo, la eficiencia representa sólo un aspecto del funcionamiento y los costes de energía son una parte de los costes totales durante la vida útil. La fiabilidad –y los costes de mantenimiento y tiempos muertos resultantes de una fiabilidad deficiente– puede ser aún más importante en algunas aplicaciones. La experiencia y conocimientos especializados de ABB proporcionan a la compañía un profundo conocimiento de las complicadas relaciones que existen considerando un comportamiento óptimo de arranque y funcionamiento entre eficiencia, peso, aumento de temperatura, ruido y vibración. Creando productos de alta calidad y procurando minimizar sus costes generales durante la vida útil, ABB garantiza que sus motores proporcionarán un rendimiento excelente en todos los sentidos.

Cuadro 3 Tres formas para seguir mejorando la eficiencia energética

Evitar el rebobinado

Generalmente, un motor rebobinado pierde eficiencia. Rebobinar un motor de más de 30kW reduce la eficiencia nominal en cerca del 1% y en motores más pequeños en hasta el 2%. Esta pérdida no es tan importante en los motores de alta calidad.

Evitar el sobredimensionamiento

Por diversas razones, las empresas suelen adquirir motores sobredimensionados. Los estudios de las industrias de transformación concluyen que los motores funcionan, en promedio, con una carga de 50 a 60% de su valor nominal, perdiendo eficiencia (de carga parcial). Sustituir los motores que funcionan por debajo de su carga nominal por otros más pequeños pero más eficientes energéticamente mejora en general la eficiencia del sistema.

Accionamientos VSD para el control de velocidad

No tiene sentido utilizar un motor muy eficiente si el sistema de accionamiento no está a la altura¹⁾. En aplicaciones de bombas y ventiladores, por ejemplo, el caudal se regula estrangulando las válvulas. Un motor que funciona a velocidad máxima cuando bastaría una velocidad menor es un derroche de energía. Los accionamientos de velocidad variable (VSD) proporcionan velocidad óptima y control preciso y ahorran mucha energía. Un reciente estudio de la Universidad de Lappeenranta (Finlandia) ha demostrado que los accionamientos en instalaciones de bombeo en paralelo pueden ahorrar hasta el 70% de energía. La compañía ABB es muy activa en el negocio de los motores, pero es también un importante proveedor de accionamientos VSD.

¹⁾ Véase también “Accionamientos eficientes y ahorro de energía” en este número de Revista ABB, p. 73.

Roelof Timmer

ABB Oy, Automation Technologies
Helsinki, Finlandia
roelof.timmer@fi.abb.com

Mikko Helinko

Ritva Eskola
ABB Oy, Motors
Vaasa, Finlandia
mikko.helinko@fi.abb.com
ritva.eskola@fi.abb.com