

El motor asíncrono trifásico

Generalidades para la coordinación de las protecciones

En ABB nos gusta compartir conocimiento con los profesionales del sector. Creemos que es sumamente enriquecedor para ambas partes y que nos ayuda eficazmente a trabajar mejor y a avanzar en la búsqueda de nuevas soluciones.

Por eso, desde hace años mantenemos un compromiso de interlocución con los profesionales, programando cursos y conferencias, colaborando con diversas escuelas y universidades, enviando documentación sobre normativas y otros temas de interés.

En esta línea, nos complace anunciarle, que hemos iniciado una serie de tres artículos técnicos correlativos en referencia al motor asíncrono trifásico. La estructura de los artículos será la siguiente:

1. Tipos y usos.
2. Protección y maniobra del motor asíncrono.
3. Principales modalidades de arranque de un motor asíncrono trifásico con rotor de jaula de ardilla.

Introducción

Los motores asíncronos trifásicos pueden incluirse entre las máquinas eléctricas más fiables que existen; desarrollan su función durante muchos años con intervenciones de mantenimiento muy reducidas y se adaptan a distintas prestaciones en función de las exigencias, cubriendo tanto aplicaciones de producción como de servicio.

Los motores se utilizan en los sectores industriales más variados, como por ejemplo las industrias alimentaria, química, metalúrgica, papelera, minera o las instalaciones de tratamiento de aguas. Las aplicaciones incluyen máquinas con piezas móviles a velocidad fija o variable, como por ejemplo los sistemas de elevación, como ascensores o montacargas; de transporte, como las cintas transportadoras; los sistemas de ventilación y climatización, como las unidades de tratamiento del aire; sin olvidar el que es probablemente el uso más común: las bombas y los compresores.

Estas indicaciones evidencian por qué el motor asíncrono trifásico puede considerarse como la máquina eléctrica más ampliamente utilizada en el entorno industrial (el consumo de energía de los motores eléctricos constituye aproximadamente el 75% del consumo total del sector industrial). A la luz de estos datos se entiende por qué es tan importante para la economía empresarial y para la mejora de la eficiencia energética en general, potenciar una reducción del consumo eléctrico (el coste de un motor durante su vida útil se debe en aproximadamente un 98% al consumo de energía y en el 2% restante a los gastos de compra y mantenimiento) recurriendo, por ejemplo, a la utilización de accionamientos de velocidad variable mediante inversores, o bien realizando una corrección del factor de potencia para tener un $\cos\phi$ idóneo para evitar incurrir en penalizaciones, o de forma aún más directa, utilizando motores de alta eficiencia identificados con la sigla "EFF1", con características constructivas y materiales muy avanzados que permiten reducir el consumo eléctrico hasta el 20%.

1.1 Tipos y usos

El motor asíncrono trifásico puede ser:

- con rotor bobinado, llamado también de anillos, o bien
- con rotor en cortocircuito, o más conocido como rotor de jaula de ardilla.

La diferencia principal entre los dos tipos reside en la estructura del rotor; para ser más precisos, en el primer tipo el rotor está constituido por varios devanados como los del estator, presenta una estructura más compleja y delicada (escobillas que rozan con el rotor, con la posible interposición de resistencias para el control de la fase de arranque) con necesidad de mantenimiento periódico y dimensiones generales elevadas, mientras que el segundo tipo tiene un rotor constituido por barras cerradas en cortocircuito, por lo que, gracias a una mayor simplicidad constructiva, da origen a un tipo de motor muy simple, robusto y económico.

Gracias al desarrollo de la electrónica de control, que permite la regulación de la velocidad de un modo muy simple y eficaz, todas aquellas aplicaciones que priorizaban la utilización de motores sujetos a tener en su propio comportamiento intrínseco la posibilidad de una regulación de la velocidad (motores de corriente continua o motores de anillo) han cedido su puesto a los motores asíncronos, en particular a los de jaula de ardilla, que se utilizan comúnmente para controlar bombas, ventiladores, compresores y muchas otras aplicaciones industriales.

ABB produce y comercializa una gama completa de motores de baja tensión, desde los de aplicaciones simples hasta los de aplicaciones más complejas. ABB ofrece siempre la solución más idónea y rentable, proponiendo motores para todo tipo de usos. En referencia a las aplicaciones más comunes, puede identificarse un ámbito de aplicaciones definido como de "uso general" cuyos motores están destinados a las aplicaciones de los OEM o fabricantes de equipos originales y que pueden solicitarse directamente a los distribuidores de todo el mundo.

Los motores de esta categoría se caracterizan por una calidad constructiva elevada y tienen como destinatarios preferentes a los fabricantes de ventiladores, bombas, compresores, equipos de elevación, etc.

Satisfacen la clase de eficiencia "EFF2" y también están disponibles en la clase de eficiencia "EFF1" si se desea.

La gama de motores ABB definida como de "uso general" comprende los siguientes tipos:

- Motores estándar con carcasa de aluminio de 0,06 a 95 kW
- Motores estándar con carcasa de acero de 75 a 630 kW
- Motores estándar con carcasa de fundición de hierro de 0,25 a 250 kW
- Motores con protección IP23 de 75 a 800 kW
- Motores de frenado automático de 0,055 a 22 kW
- Motores monofásicos de 0,065 a 2,2 kW
- Motores integrados con inversor de 0,37 a 2,2 kW

Los motores ABB están provistos de la marca CE y cumplen con las principales normas internacionales y nacionales del sector (también reconocidas por la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC), por ejemplo las normas IEC 60034-1, IEC 60034-2, IEC 60034-8 e IEC 60034-12, referentes a los aspectos de tipo eléctrico, y las normas IEC 60034-5, IEC 60034-6, IEC 60034-7, IEC 60034-9, IEC 60034-14 e IEC 60072, para el sector mecánico.

1.2 Estructura del motor asíncrono

Para comprender mejor cómo está estructurado un motor asíncrono trifásico, proporcionamos a continuación una breve descripción de las principales partes que componen el mecanismo de rotación y en las que se generan los fenómenos eléctricos de los que deriva su funcionamiento.

El primer elemento que describimos es el estator, que se puede definir como el conjunto de las partes fijas cuya función es sostener, al menos parcialmente, la máquina, pero fundamentalmente constituye la parte del circuito magnético que contiene los devanados inductores alojados en las ranuras adecuadas a ese fin y en correspondencia con su superficie interna.

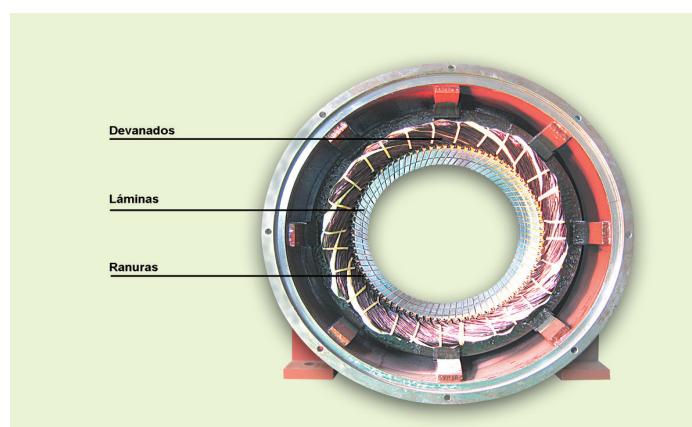
El estator (representado en la figura 1) está constituido por láminas de una aleación de acero al silicio o de acero macizo aisladas entre sí. De su estructura depende todo lo concerniente a los flujos magnéticos variables en el tiempo que provocan pérdidas por histéresis (ligadas a la magnetización no lineal del material) y por corrientes parásitas inducidas.

En las ranuras adecuadas en la estructura de las láminas se insertan tres devanados primarios (cada uno de ellos constituido por más devanados interconectados de distinta forma), a los que se aplica la tensión de alimentación y que generan el campo magnético.

Los devanados estatóricos trifásicos pueden conectarse en estrella o en triángulo, algo que es posible con motores dotados de 6 bornes, permitiendo alimentar un mismo motor con tensiones trifásicas de redes distintas. Por ejemplo, la doble indicación podría ser 230 V Δ - 400 VY ó 400 V Δ - 690 VY, donde el símbolo Y o Δ se refiere a la conexión de los devanados del estator y se entiende por ejemplo para el segundo caso (400 V Δ - 690 VY) que los devanados del motor conectados en Δ pueden conectarse a una red trifásica a 400 V (tensión concatenada, o sea, entre fase y fase), mientras si para el mismo motor la conexión de los devanados del estator se realiza en Y, el mismo motor puede conectarse a una red de alimentación

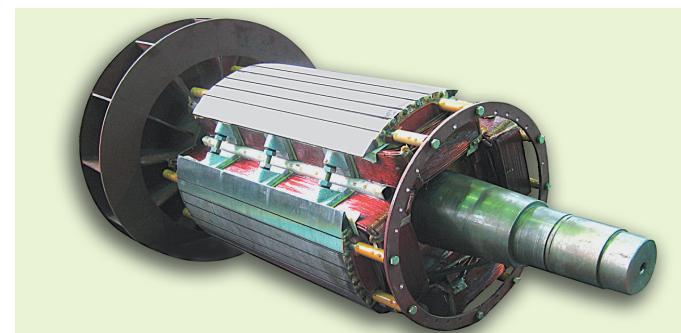
a 690 V (los devanados en Y serán sometidos a la tensión de red reducida $\sqrt{3}$ veces).

Figura 1: Estator de un motor asíncrono trifásico



El segundo elemento es el rotor, que está alojado en el interior del estator y constituye el circuito inducido de la máquina. Para un motor de jaula de ardilla, el rotor, tal y como se muestra en la figura 2, está constituido por un sistema de barras conductoras (de cobre o aluminio) paralelas al eje de rotación, inyectadas directamente en las ranuras practicadas a lo largo de toda la periferia externa del núcleo ferromagnético.

Figura 2: Rotor de un motor asíncrono trifásico



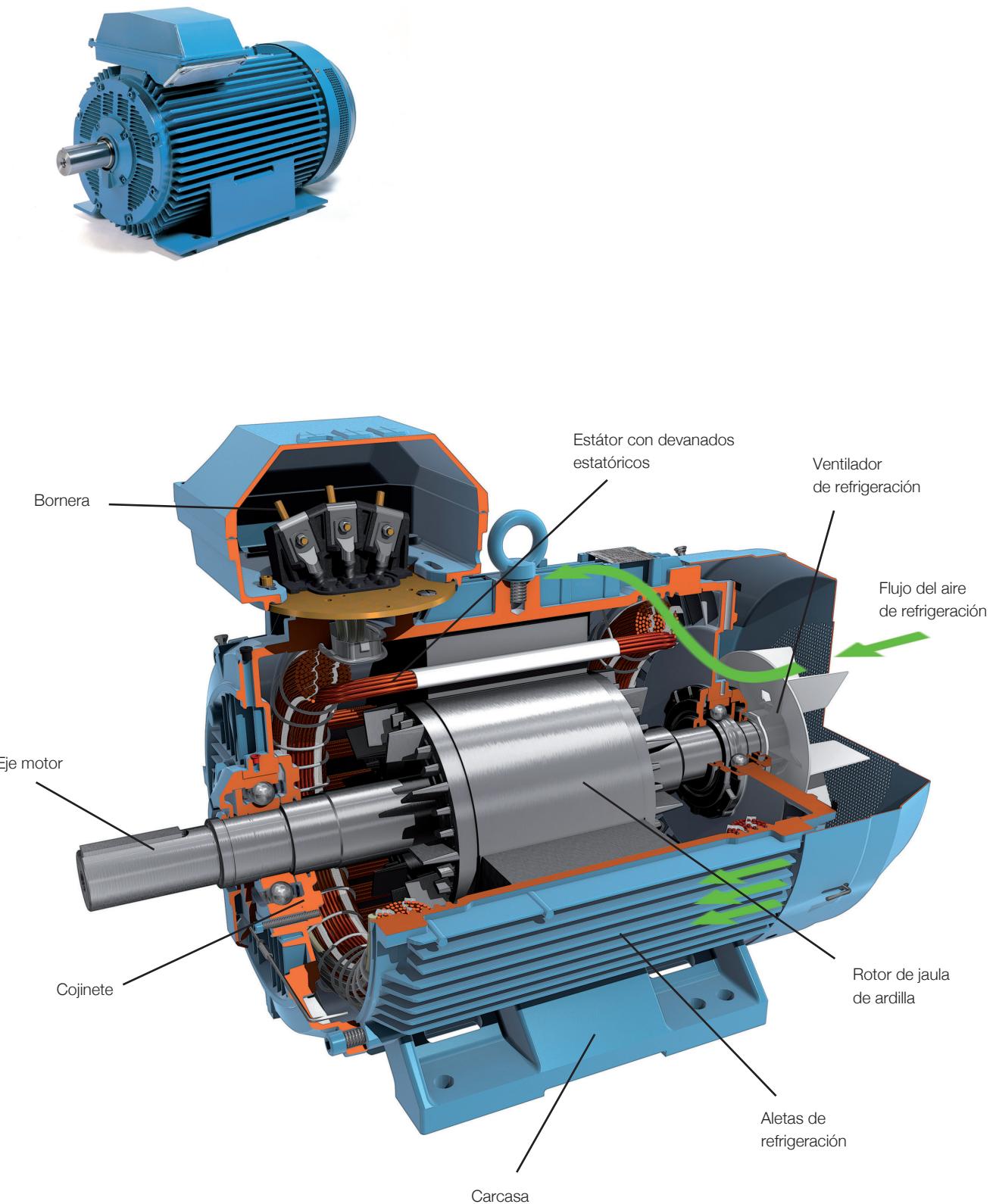
Las barras se cierran en cortocircuito con dos anillos conductores posicionados en los extremos, que constituyen también una fijación mecánica para las propias barras. Se obtiene así un rotor extremadamente compacto y robusto, al que se fija también el eje del motor. El campo magnético inducido, que constituye el principio funcional del motor, hace girar el eje del motor convirtiendo así la energía eléctrica en energía mecánica.

También existen otros componentes mecánicos presentes en el motor. Los principales son:

- los dos cojinetes montados sobre el estator con la función de apoyar el eje del motor;
- la carcasa, que con las aletas, elimina el calor producido sobre todo por el estator y que contiene también la bornera de conexión;
- el ventilador, que proporciona la refrigeración.

En la figura 3 se ofrece una vista de conjunto y otra seccionada del motor asincrono trifasico de jaula de ardilla.

Figura 3: Vista de conjunto y seccionada de un motor asincrónico



Apéndice A: Teoría del motor asincrónico trifásico

A continuación, sin entrar en detalladas explicaciones teóricas, aportaremos algunos conceptos sobre el principio de funcionamiento del motor asincrónico.

El motor asincrónico es un tipo de motor eléctrico de corriente alterna en el que la frecuencia de rotación no es igual sino inferior a la frecuencia de red, es decir, no es “síncrono” con ella, de ahí el origen de su nombre.

Por efecto de la alimentación del circuito del estator, se produce un campo magnético rotante que tiene una velocidad (velocidad de sincronismo n_0) ligada a la frecuencia de la red de alimentación. El rotor, cerrado en cortocircuito y sometido al campo magnético del estator, es objeto de una fuerza electromotriz inducida que genera corrientes cuyo efecto es el de crear un par motor que hace girar el rotor a fin de oponerse a la causa que ha generado el fenómeno (ley de Lenz). De este modo, el rotor acelera tendiendo idealmente a la velocidad de sincronismo, a la que correspondería un par motor nulo, generando así una situación de inestabilidad para el motor. Sin embargo, en la práctica el motor alcanza una velocidad inferior (concepto de deslizamiento, como diferencia de velocidad entre el campo magnético estatático y la velocidad del rotor) tal que en vacío (sin carga externa conectada al eje del motor) el par motor iguala los pares de fricción y ventilación, mientras que con carga el par motor iguala la suma de los pares precedentes y del par de resistencia aplicado al eje.

Tal y como ya se ha mencionado, la velocidad a la que el motor no produce par se llama velocidad de sincronismo.

Esta velocidad está ligada a la frecuencia de alimentación y al número de pares de polos de la relación:

$$n_0 = \frac{60 \times f}{p} \text{ donde}$$

n_0 es la velocidad de sincronismo en vueltas por minuto

f es la frecuencia de la red de alimentación

p es el número de pares de polos

(los pares de polos se determinan dividiendo entre dos el número de polos que presenta el motor).

Con la fórmula precedente, en el caso de, por ejemplo, un motor con 8 polos (4 pares de polos) alimentado a 50 Hz, es posible obtener la velocidad de sincronismo “ n_0 ” que viene a ser:

$$n_0 = \frac{60 \times 50}{4} = 750 \text{ rpm}$$

En la tabla A1 a modo ilustrativo proporcionamos el valor de la velocidad de sincronismo calculada, para motores con diverso número de polos, a las dos frecuencias típicas de instalación (50 y 60 Hz).

Tabla A1: Velocidad de sincronismo del motor asincrónico trifásico en función del número de polos y de la frecuencia

Nº de polos	Velocidad de sincronismo n_0 50 Hz	Velocidad de sincronismo n_0 60 Hz
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720

En el funcionamiento normal el rotor (y por lo tanto el eje del motor en giro solidario) presenta una velocidad inferior. Incluso en el funcionamiento en vacío, es decir sin carga aplicada, no se alcanza la velocidad de sincronismo por las pérdidas intrínsecas del motor ligadas, por ejemplo a la fricción con los cojinetes que soportan el eje y que ofrecen un pequeño par de resistencia.

De la diversidad entre la velocidad de rotación del rotor “ n ” y del campo magnético del estator “ n_0 ” se puede definir una velocidad relativa “ ns ”, expresada con la fórmula $ns = n_0 - n$ y definida con propiedad como velocidad de deslizamiento. De ahí que el deslizamiento “ s ” se defina como:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

y pueda asumir todos los valores comprendidos entre los valores límite 0 y 1 a partir de las condiciones de funcionamiento; concretamente:

$n = 0$ rotor parado, por lo que $s = 1$ (rotor bloqueado)

$n = n_0$ rotor con velocidad de sincronismo, por lo que $s = 0$ (sólo teórica)

A modo orientativo se puede asumir que el deslizamiento que caracteriza a los motores asincrónicos en su funcionamiento a plena carga posee valores comprendidos entre el 3 y el 7%, donde los valores inferiores son típicos de los motores de potencia elevada. Siguiendo con el ejemplo del motor anterior, caracterizado por una velocidad de sincronismo de 750 rpm, suponiendo un deslizamiento del 4%, la velocidad real en condiciones normales sería:

$$n = n_0 - (s \times n_0) = 750 - (0,04 \times 750) = 720 \text{ rpm}$$

En la tabla A2 proporcionamos un ejemplo, para algunas potencias, de los valores típicos que pueden asumir, a 415 Vca, el rendimiento, el factor de potencia y la intensidad nominal, para los tipos más comunes de motores asíncronos trifásicos con distinto número de polos.

Potencia nominal [kW]	Rendimiento η a plena carga			Factor de potencia a plena carga			Intensidad nominal [A]		
	%			Cos ϕ			$I_e = \frac{P_e \times 1000}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\phi \times \eta}$		
Pe	2P	4P	6P	2P	4P	6P	2P	4P	6P
75	94.8	95.0	94.9	0.87	0.82	0.80	127	134	137
90	95.1	95.2	95.3	0.89	0.83	0.83	148	158	158
110	95.1	95.3	95.3	0.85	0.83	0.83	189	193	193
132	95.7	95.5	95.4	0.87	0.84	0.84	221	229	229
160	96.1	96.0	95.5	0.89	0.85	0.83	260	273	281
200	96.3	96.2	95.8	0.90	0.85	0.83	321	340	350
250	96	96.2	96.0	0.88	0.85	0.80	412	425	453
315	96.4	96.4	96.0	0.89	0.85	0.82	511	535	557
355	96.5	96.6	96.5	0.87	0.85	0.84	588	601	609
400	96.8	96.6	96.5	0.88	0.86	0.84	653	670	687

Esperamos que haya disfrutado de este primer artículo y le esperamos en el siguiente número:

2- Protección y maniobra del motor asíncrono

Para más información:

**Asea Brown Boveri, S.A.
Low Voltage Products**

Torrent de l'Olla, 220
08012 Barcelona
Tel: 93 484 21 21
Fax: 93 484 21 90
www.abb.es/bajatension

Power and productivity
for a better world™

