

motor tico

BOLETÍN MENSUAL PREPARADO POR WWW.MOTORTICO.COM, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2013

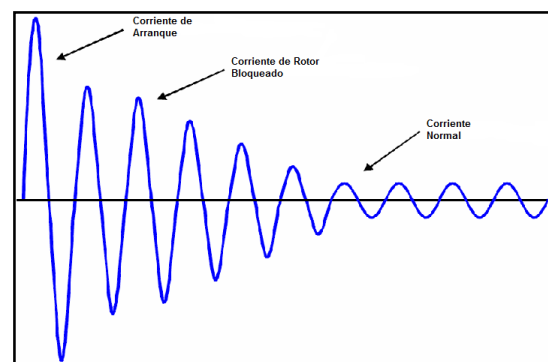
Corriente de Arranque en Motores Eléctricos

El motor eléctrico tiene 2 comportamientos distintos, estos son: en **El Arranque** (Transitorio) y en el **Estado Estable** (Permanente). Claramente las características son diferentes. En el caso del primero, se debe tener claro que la energía total del sistema (Motor+Máquina) no puede variar bruscamente, ni es posible pasar de una forma de energía a otra instantáneamente. De esta forma, se define un **Transitorio Eléctrico** en un convertidor electromecánico cuando la energía varía rápida y temporalmente, y es sólo almacenada en sus campos magnéticos y eléctricos, conservándose constante la energía cinética (reflejada en la velocidad). Por otro lado, si la variación de energía incluye también una modificación temporal o permanente de la energía cinética se definirá entonces el fenómeno como de tipo **electrodinámico**, o más brevemente como un **Transitorio Dinámico**. Nos ocuparemos en este boletín de las corrientes de arranque en el transitorio dinámico del motor eléctrico.

El arranque del motor

El proceso de poner en marcha el motor se conoce como el **Arranque**. Para que esto sea posible, es necesario que el par (Torque) de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esta forma el motor acelera hasta la condición permanente. El tiempo que demora este proceso varía desde los Milisegundos hasta los Minutos, esto depende de la dinámica de la carga. Por ejemplo, hay maquinas centrífugas que tardan hasta 10-15 minutos en alcanzar la velocidad nominal. El proceso de arranque se acompaña de un consumo de corriente muy elevado, que es el mayor durante la operación del motor. Lo anterior se debe a que en el momento del arranque, el campo magnético rotatorio empieza a girar a la velocidad sincrónica, y el rotor aún esta detenido, y es el momento de mayor tensión inducida en las barras del rotor. Además, la resistencia de carga es el valor más bajo, prácticamente es un corto circuito, ya que el Deslizamiento tiene un valor de 1. Con estas dos condiciones se produce la corriente elevada de arranque. La figura 1 muestra el comportamiento típico de la corriente en un motor de inducción.

Figura 1. Comportamiento de la corriente de un motor de inducción



En la figura 1 se distinguen 3 momentos desde el proceso de arranque, hasta llegar al valor normal de funcionamiento, estos son: El primero se nombra como **Corriente de Arranque** (Inrush en inglés), que es la corriente de arranque transitoria e instantánea, y fluye en menos durante un medio ciclo de la onda, y puede alcanzar valores desde 10 hasta 20 veces la corriente nominal del motor (FLA por las siglas en inglés de Full Load Ampere). La segunda etapa se conoce como **Corriente de Rotor Bloqueado** (LRA por las siglas en inglés de Locked Rotor Ampere), que alcanza valores de 6 a 10 veces la FLA. Finalmente, la **Corriente Normal** se define como la corriente de consumo cuando el motor terminó su arranque, y esta varía según el nivel de carga del motor.

Corriente de Rotor Bloqueado

La corriente de arranque (Inrush) no está definida en las normas de fabricación, depende del diseño de cada fabricante (Ver más adelante). La que si aparece en la normativa que guía la construcción de motores eléctricos es la de Rotor Bloqueado. En el caso de motores NEMA, el aspecto que aparece en a placa, y que define la corriente de rotor bloqueado, es la Letra de Código (Code Letter en inglés), definida como la corriente consumida a plena tensión con el rotor trabado, sin posibilidad de giro. Es una condición estable, no transitoria.

Según el estándar NEMA MG1 con la letra de código se puede calcular el nivel de corriente de rotor bloqueado. La tabla siguiente muestra los valores.

Por ejemplo: Un motor 100hp, 460V, 60Hz, Letra de Código C, trifásico, TEFC, 1750rpm, FLA=138A.

La corriente del rotor bloqueado será:

$$LRA = (hp \cdot \text{Máximo kVA/hp} \cdot 1000) / (V \cdot \sqrt{3}) = (100hp \cdot 4 \text{ kVA/hp} \cdot 1000) / (460V \cdot \sqrt{3}) = 502A.$$

Para este caso: $502/138 = 3.6$ veces la corriente nominal.

Figura 2. Letra de Código según norma NEMA MG1

Letra de Código Rotor Bloqueado kVA/hp	
A 0-3.15	G 5.6-6.3
B 3.15-3.55	H 6.3-7.1
C 3.55-4.0	I 7.1-8.0
D 4.0-4.5	J 8.0-9.0
E 4.5-5.0	K 9.0-10.0
F 5.0-5.6	L 10.0-11.2

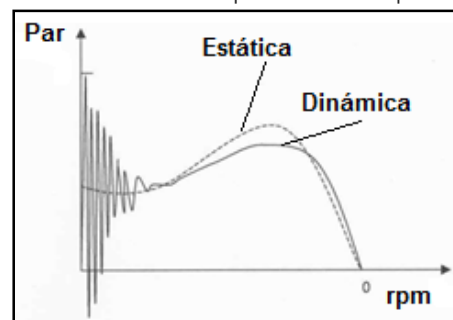
En el caso de motores construidos bajo normas IEC, el dato se expresa directamente como I_a/I_n , esto es la relación de la corriente de arranque a la nominal. Por ejemplo, un motor IEC con indicación $I_a/I_n=8$, significa que la corriente de rotor bloqueado es 8 veces la nominal.

Curva Par-Velocidad

La Curva Par - Velocidad presenta la característica del par desarrollado por el motor desde el arranque hasta la condición de operación normal. En el arranque, el motor desarrolla el par de arranque, luego presenta el par mínimo, y al 80% de la velocidad nominal tiene el par máximo. El par se estabiliza según lo solicita la carga. Hay dos formas de analizar el comportamiento del motor de inducción, esta son: Dinámica y Estática. La forma más común de presentar la curva par-velocidad es de forma estática, donde se asumen algunas consideraciones para facilitar el análisis. Pero el método dinámico es más fiel al comportamiento real. La figura siguiente muestra ambas curvas.

Figura 3. Comparación de curva Par-Velocidad Dinámica y Estática

La figura 3 muestra las curvas para un motor de 7,5kW. La curva dinámica es la que presenta oscilaciones (línea continua); y la curva estática es la típica conocida en motores eléctricos (Línea discontinua), la cual utiliza la teoría del circuito equivalente para encontrar la relación entre el Par y la Velocidad en todo el rango de operación.



En la figura se puede ver que en la región del principio en la característica dinámica se dan oscilaciones, algunas de ellas negativas. Cerca del punto máximo, la característica estática toma un valor mayor, y la característica dinámica tiene valores más bajos. El transitorio electromagnético tiene una influencia significativa sobre la característica par - velocidad de la máquina de inducción. Para simplificación, se asume en el análisis transitorio la curva característica dinámica, y en el estado estable se usa la curva característica estática.

Aplicación de los conceptos: Corriente de Arranque en Motores de Eficiencia Superior

Los fabricantes de motores se enfocan en la mejora de la eficiencia, esto se logra por medio de las siguientes acciones:

- Más sección de cobre en el bobinado estatórico.
- Núcleos magnéticos más grandes.
- Láminas magnética más delgadas y de mejor calidad.
- Mejor diseño de las barras del rotor.
- Reducir pérdidas por ventilación y fricción.
- Mejora en el entrehierro.

Mejoras en el diseño del motor con miras a aumentar la eficiencia, ha provocado MAYORES corrientes de arranque instantáneas, aunque las corrientes de rotor bloqueado son similares a los diseños anteriores, lo que ha permitido mantenerse clasificados según la normativa vigente.

Se pueden presentar disparos erróneos en el interruptor automático (Breaker o Fusible) cuando se arranca un motor de **eficiencia superior** por efecto de la corriente de arranque elevada. En la figura 4 se muestra en rojo la corriente del motor de eficiencia superior, desde el arranque hasta el valor nominal. En azul se muestra la curva de disparo ajustable del interruptor que protege al motor. En este caso, es posible que se presenten disparos erróneos si el ajuste del interruptor produce un cruce de ambas curvas. Incluso es posible que el disparo se presente cada cierto número de arranques, ya que dependerá del punto dónde se inicie la curva, el mayor peligro es coincidir con el cruce por cero de la corriente.

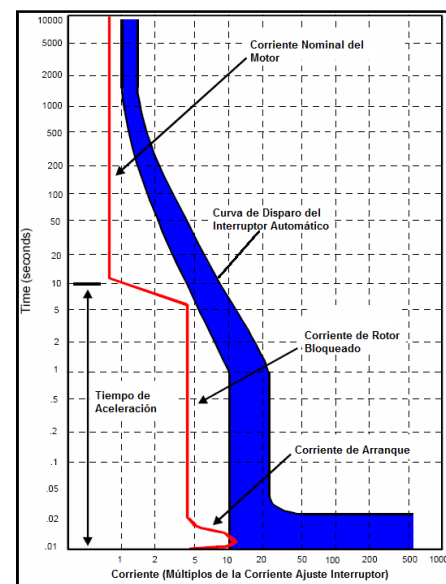


Figura 4. Corriente del motor y Curva del Interruptor

Como recomendación final, se debe conocer la curva de disparo del interruptor utilizado (Se obtiene con el fabricante), y seguir las recomendaciones establecidas por las normas para el dimensionamiento de las proteccion en motores eléctricos.