

Guías de Aplicación: Información Técnica de Cummins Generator Technologies

## AGN 068 - Consideraciones sobre Arranque de Motores y el Grupo Electrónico

### **INTRODUCCIÓN**

Comience por considerar lo que sucede durante el arranque de un motor y, por lo tanto, establezca un nivel de comprensión que brinde confianza para ofrecer una ruta positiva hacia la designación de un grupo electrónico adecuado para arrancar y hacer funcionar ese motor. Para seleccionar el tipo y tamaño correcto de alternador, es necesario consultar las hojas de datos técnicos y los manuales de información que están disponibles en el sitio web. La información incluida en esta Nota de Orientación de Aplicación debe usarse junto con AGN 090: Fundamentos de arranque de motores y AGN 032: Métodos de arranque de motores.

### **ARRANCANDO UN MOTOR**

Considere un motor de inducción a punto de arrancar. Los kVA máximos que impactarán en el alternador serán en el instante en que se aplique la tensión de alimentación a los terminales de los motores. El rotor del motor está 'bloqueado' a velocidad cero; por lo tanto, la frecuencia máxima de deslizamiento resulta en un alto nivel de 'corriente de entrada' en los devanados del estator de los motores (y un alto nivel de corriente en el devanado de la jaula del rotor). Justo lo que quería el diseñador del motor, garantizar que el motor desarrolle el par máximo y, por lo tanto, el rotor comience a girar.

A medida que aumenta la velocidad del rotor, la frecuencia de deslizamiento del rotor se reduce, lo que da como resultado una reducción en los kVA demandados del suministro (Grupo Generador) y un aumento en kW. La cantidad de energía requerida depende del par requerido para hacer girar la carga acoplada del motor, pero en general, a medida que aumenta la velocidad, la demanda de kVA del motor se reducirá. Eventualmente, el motor alcanza la velocidad nominal mientras desarrolla la potencia del punto de trabajo [kWm] según lo exija la carga acoplada del motor.

Hay consideraciones a tener en cuenta: las incógnitas.

- ¿Qué tan rápido comenzará a girar el rotor? Esto depende de la "fricción estática" de la carga acoplada del motor. Este período de tiempo de condición de rotor bloqueado 'estático' definirá la duración de la condición de rotor bloqueado y, lo que es más importante, la duración de la condición de kVA asociada al rotor bloqueado, determinando así las características de salida requeridas del alternador. Esto bien puede ser un nivel severo de sobrecarga y, por lo tanto, se requieren datos importantes para la consideración de la magnitud resultante de la caída de voltaje transitorio (TVD), que inevitablemente ocurrirá en el voltaje del sistema. La magnitud del TVD% combinado con el rotor bloqueado hasta, digamos, el 30% del tiempo de duración de la velocidad nominal, se combinan para tener un efecto considerable en el período de tiempo antes de que el nivel de voltaje del sistema se restablezca al voltaje nominal. Las consideraciones técnicas aquí incluyen la capacidad del sistema de excitación del alternador (el AVR, el excitador y el rotor principal) para forzar el voltaje de salida del alternador de regreso al voltaje nominal y restaurar la estabilidad.
- Es importante establecer qué período de tiempo tardará el rotor del motor en acelerar desde la condición de rotor bloqueado hasta la velocidad nominal (punto de trabajo). Cuanto mayor sea la duración del período de aceleración, más tiempo estará el motor en una condición anormal y, en consecuencia, el alternador también puede estar en una condición de sobrecarga, y esto podría ser mientras intenta soportar la carga base conectada y en funcionamiento.
- Durante todo el período de arranque, el Grupo Generador está suministrando muchos kVA con un factor de potencia bajo, pero este factor de potencia bajo y kVA alto no es sin vatios. El alternador que funciona con una sobrecarga de kVA en una condición de bajo factor de potencia no funciona exactamente con una buena eficiencia, por lo que las demandas de potencia del motor comienzan a acumularse. Esto es así especialmente después de los msg iniciales de arranque del motor, una vez que la energía cinética del rotor/volante del grupo electrógeno ha sido absorbida y la velocidad del eje del grupo electrógeno ahora está en línea con la potencia producida por el motor. Además, tan pronto como se le pide al motor que desarrolle potencia en el eje para hacer girar su carga acoplada, se tendrá que satisfacer la demanda de potencia real del motor (entrada eléctrica kW). El factor de potencia de entrada del motor aumentará y esta 'potencia real' total tiene que provenir del cilindro del motor desarrollado por BMEP (presión media efectiva de ruptura). La capacidad de recuperación de velocidad del motor/rendimiento de aceptación de carga se convierte en el principal problema. For the whole of the start period, the Generating Set is supplying lots of kVA at a low power factor, but this low power factor and high kVA is by no means Wattless.

Habiendo pensado en lo que realmente está sucediendo con el motor y su carga, y el grupo electrógeno, se vuelve obvio que la cantidad de incógnitas identificadas descritas anteriormente se combinarán para afectar las capacidades de arranque del motor de un grupo electrógeno.

Es por esta razón que Cummins Generator Technologies suele comentar que el fabricante del grupo electrógeno es el experto en el campo de la capacidad del grupo electrógeno, en términos de aceptación de carga y esto incluye el arranque del motor. Aceptamos que esto es un poco como una 'salida', pero en un grupo electrógeno, el rendimiento del AVR del alternador se verá atenuado por los circuitos del AVR de alivio del motor: la caída de baja frecuencia (UFRO), la caída de voltaje (DIP) y permanencia (DWELL). Por lo tanto, los datos de Cummins Generator Technologies, que siempre se relacionan con el funcionamiento a velocidad constante y un AVR dinámico sin "desventajas", no se repetirán cuando se involucre un motor.

### **RELACIÓN ENTRE CAPACIDADES NOMINALES DEL MOTOR Y CAPACIDADES NOMINALES DEL GRUPO ELECTRÓGENO**

Ahora podemos pasar a considerar la capacidad de un motor eléctrico, que es una "placa de identificación" cuantificada por la potencia del eje desarrollada, generalmente en kilovatios mecánicos (kWm), pero a veces se expresa en caballos de fuerza (HP).

$$1 \text{ HP} = 0.745 \text{ kWm}$$

$$1 \text{ kWm} = 1.342 \text{ HP}$$

*Como una simple "regla de oro" general, para un cálculo rápido, la potencia del eje del motor en HP = kVA de funcionamiento del motor a plena carga a f.p. de 0,8.*

Tratar de calcular los kWm continuos requeridos del motor de un grupo electrógeno para hacer funcionar el motor a su capacidad máxima continua, requiere considerar las características de operación de los motores a plena carga y velocidad nominal, en forma de eficiencia y factor de potencia y luego la eficiencia del alternador que suministra este nivel de carga kVA.

Habiendo establecido la carga continua para el motor, se debe considerar la demanda de arranque del motor eléctrico. Es importante establecer la clasificación real de "potencia del eje" de diseño continuo completo de los motores, que puede ser más alta que su servicio en el sitio, porque cuando se enciende este motor, seguirá las características de sus capacidades de diseño completas.

La siguiente información vital es el método de arranque propuesto para el motor. El AGN 090 proporciona detalles sobre los fundamentos de arranque de motores, aunque sabemos que es probable que el método de arranque sea uno de los siguientes:

- Directo en línea (DOL)
- Estrella – Triángulo
- Autotransformador y el porcentaje de la toma
- Arrancadores suaves electrónicos y el % de pedestal de voltaje
- Variador de velocidad (VSD) mediante el uso de un inversor.

Las respuestas a estas consideraciones brindarán una guía del trabajo del alternador con respecto a los "kVA de impacto" en el instante de iniciar el proceso de arranque del motor, lo

que, por supuesto, se reflejará directamente en el motor del grupo electrógeno para impulsar la potencia.

El método de arranque también proporcionará orientación sobre la demanda de par de la carga impulsada por el motor eléctrico y, por lo tanto, una idea de los niveles y la duración de los kWm que proporcionará el motor.

### **Arranque Directo en Línea (DOL)**

Un motor eléctrico que se está arrancando DOL podrá desarrollar múltiples niveles de par a plena carga (2, 3 o 4 veces según el diseño del motor) y es muy posible que el motor esté arrancando DOL, porque la carga acoplada a el motor exigirá este nivel de par para impulsar su carga acoplada hasta la velocidad nominal.

Hay que decir que muchos motores arrancan DOL simplemente porque es la forma más rentable de arrancar un motor en un suministro eléctrico de red. Ejemplos de situaciones de alto par de arranque son los accionamientos de cintas transportadoras, donde la cinta transportadora está completamente cargada con carbón o residuos de piedra, o considere una trituradora de piedra que ya se está arrancando llena de piedra.

### **Arranque Estrella-Triángulo y Autotransformador**

Un motor que arranca mediante el método estrella-triángulo o de autotransformador no desarrollará múltiples niveles elevados de par de arranque; por lo tanto, no exigirá altos niveles de potencia "pico" del motor.

Por lo general, estos métodos de arranque se emplean cuando el motor alcanza la velocidad prácticamente en condiciones sin carga, y la carga del motor se desarrolla una vez que se detecta la velocidad máxima de funcionamiento. Por ejemplo; Compresores con sistema de alivio de presión o bombas con válvulas de control de tuberías. Sin embargo; a veces, estos sistemas de arranque del motor con corriente de arranque reducida se emplean porque la carga acoplada del motor es de alta inercia (un ventilador de gran diámetro o una bomba especializada) y el criterio de diseño del sistema ha sido aumentar la velocidad del motor y la carga acoplada lentamente. Bajo tales aplicaciones, el motor exigirá un impulso de par inicial para superar la carga estática y luego reducirá rápidamente la demanda de energía a una potencia considerablemente menor que la potencia nominal sin que se produzca la demanda real de niveles de potencia, digamos niveles superiores al 60 % de la potencia nominal, hasta que la velocidad del motor esté por encima del 75% de la nominal.

Debe tenerse en cuenta que 'en el momento del arranque' la demanda que un motor eléctrico pondrá a un Grupo Electrógeno por kWm bien puede, por todas las razones explicadas anteriormente, estar presente solo por fracciones de segundo y, por lo tanto, esta demanda momentánea, o patada de poder, para iniciar el giro del motor bien puede ser satisfecha por la energía cinética del volante del motor y la masa del rotor del alternador.

A partir de entonces, las características del método de arranque del motor, las capacidades de diseño de los motores y las características de la carga del motor se combinarán para establecer la escala de la demanda real del motor para kWm.

## **Arrancadores suaves electrónicos y variadores de velocidad (VSD)**

Los arranques de motores que están bajo el control de la electrónica de potencia, ya sea en la forma de un arranque suave electrónico o un variador de velocidad (VSD), pueden tener sus características de arranque adaptadas, durante la puesta en marcha, para cumplir las expectativas de carga de los motores acoplados como a las capacidades idealizadas del Grupo Generador.

Es muy inusual que los sistemas VSD exijan una potencia mayor que la nominal en la situación inicial estática/de arranque, y esto luego caerá a un nivel de potencia requerido suficiente, generalmente en condiciones de nivel de ful carga nominal/velocidad nominal. Por supuesto, el nivel de potencia porcentual real durante la aceleración de la velocidad del motor dependerá de las características de la carga acoplada del motor.

Los motores que tienen arranque suave electrónico pueden tener su par estático del motor que desarrolla un "voltaje de pedestal" ajustado para adaptarse a los requisitos de carga acoplados del motor y también pueden tener la tasa de rampa de aceleración del motor ajustada en el sitio y así lograr una demanda gradual de potencia del motor, bajo niveles establecidos controlados.

### **Requisitos de potencia del motor del grupo electrógeno**

Habiendo cubierto los métodos de arranque de motores más importantes y ofrecido la dirección para las expectativas con respecto a la entrega de potencia del motor, las siguientes son algunas '**Reglas generales**' para ayudar a determinar los niveles de potencia de estado estable para motores que funcionan a máxima velocidad / capacidad máxima de carga.

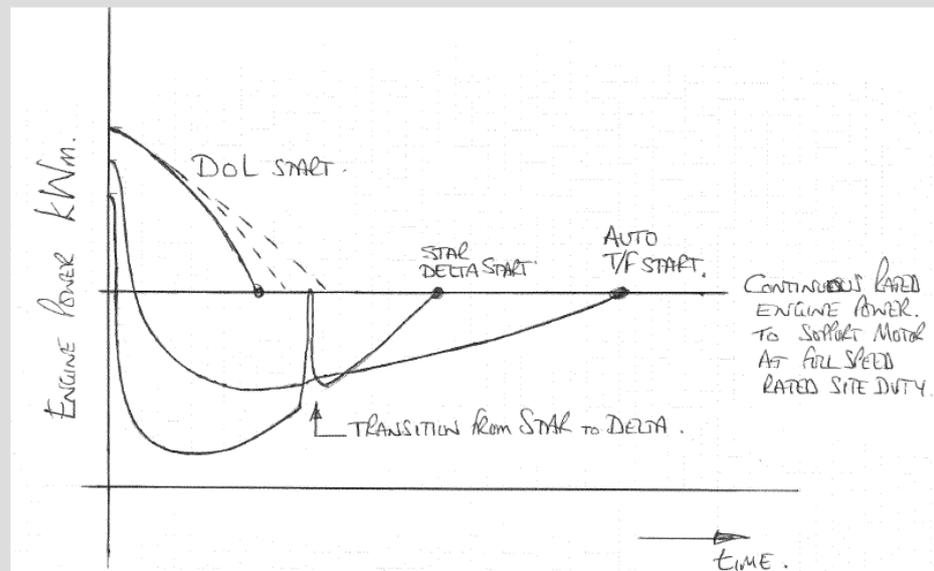
Para los kWm mínimo requerido del motor:

- Motor kWm x 1,25 = Potencia requerida en estado estable del motor del grupo electrógeno en kWm.

Ahora considere la situación momentánea y a corto plazo de demanda pico del motor. En el instante de arranque del motor:

- Arranque DOL: Motor kWm x 2 = Pico de demanda de potencia del motor del Grupo Electrónico en kWm.
- Arranque por Autotransformador con 75% V tap: Motor kWm x 1.8 = Pico de demanda de potencia del motor del Grupo Electrónico en kWm.
- Arranque estrella – triangulo: Motor kWm x 1.6 = Pico de demanda de potencia del motor del Grupo Electrónico en kWm.
- Arrancador suave electrónico con pedestal de voltaje de 40%: Motor kWm x 1 = Pico de demanda de potencia del motor del Grupo Electrónico en kWm.
- Variador de velocidad (VSD): Motor kWm x 1 = Pico de demanda de potencia del motor del Grupo Electrónico en kWm.

Por todas las razones descritas anteriormente, las características de la demanda de potencia del motor, a medida que el motor acelera hasta alcanzar la velocidad, establecerán la velocidad a la que decae la demanda máxima y se establece la demanda de potencia del motor en estado estacionario. El siguiente gráfico intenta mostrar las características típicas de la demanda de potencia del motor frente al tiempo.



## DATA TÉCNICA DEL ALTERNADOR

A continuación, se resumen las pruebas realizadas en los alternadores STAMFORD y AvK con el fin de recopilar los datos apropiados para su inclusión en la hoja de datos técnicos de cada alternador:

- Los alternadores STAMFORD y AvK cumplen con los estándares nacionales e internacionales asociados que establecen las reglas y expectativas para el rendimiento del producto de las máquinas eléctricas rotativas. Todos estos estándares se basan en que el alternador se acciona a una velocidad de funcionamiento constante durante las pruebas de carga de impacto.
- Por todas las razones expuestas anteriormente, las pruebas de arranque del motor se realizan con el factor de potencia más bajo posible. Las instalaciones de prueba de STAMFORD y AvK incluyen una gama de motores de inducción, todos con sus ejes sólidamente bloqueados para permitir que se produzca una verdadera corriente de irrupción pico/deslizamiento máximo durante un período de duración para permitir el establecimiento del TVD% y el comportamiento dinámico del AVR/excitación, para identificar el tiempo de recuperación necesario para restablecer la tensión nominal.
- El tipo de sistema de excitación del alternador (Digital, MX, AS o SX) juega un papel importante en el TVD% y el patrón de recuperación. La 'reactancia' real de la máquina utilizada es una combinación del estado subtransitorio ( $X''_d$ ) y el estado transitorio ( $X'_d$ ), más un factor de componente de excitación, que se agrupa en un factor llamado

Xg. Xg es diferente para cada alternador y diferente a 50 Hz y 60 Hz. Xg es simplemente un parámetro de prueba calculado que permite ejecutar un programa de modelado interno único.

- Mediante el uso de equipos de adquisición de datos, las pruebas basadas en STAMFORD y AvK siguen procedimientos rastreables (IEC60034-1) para identificar el TVD máximo para un rango de cargas de impacto aplicado a bajo factor de potencia, y los resultados se trazan en los gráficos presentados en la ficha técnica del alternador como "Curvas de rotor bloqueado".
- Los tiempos de recuperación son difíciles de cuantificar, porque los distintos estándares no están de acuerdo sobre el punto en el que se considera que se ha producido la recuperación/estabilidad. Cummins Generator Technologies solo hace una declaración por el AVR. El AVR recuperará el voltaje dentro del 97% del voltaje nominal dentro de 300 mseg. Sin embargo; esto no permite las diferentes constantes de tiempo asociadas con cada alternador diferente y asume que la condición de arranque del motor simulado no representa más que los kVA nominales que se han aplicado al alternador.

### **MÚLTIPLES CARGAS**

Se debe prestar especial atención a los niveles de carga acumulativos mientras se soportan las cargas establecidas y operativas y luego se hace frente a una situación de arranque del motor. Aquí, el mejor consejo es crear una representación gráfica, a menudo llamada diagrama de carga, que represente kVA (y kW) en el eje Y y el tiempo transcurrido en el eje X. Con suerte, la condición de rotor bloqueado de los motores no someterá al grupo electrógeno a un gran nivel de sobrecarga, lo que provocará que el sistema de excitación del alternador no pueda soportar esa condición de carga, mientras mantiene el voltaje nominal.

Esta es la situación cuando ocurre una condición de falla de baja impedancia en un sistema eléctrico. Esto da como resultado que el sistema de excitación se vea forzado a la saturación (totalmente) para forzar la corriente a través de la falla de baja impedancia a expensas de mantener el voltaje nominal; donde bajo niveles de falla extremos, el voltaje es virtualmente cero y todos los esfuerzos del sistema de excitación se dedican a forzar una corriente de salida y lidiar con la reacción del inducido producida por el devanado del estator.

Consideremos una situación en la que la carga de arranque del motor da como resultado que el voltaje de salida del grupo electrógeno se mantenga al 90 % del voltaje nominal y esto con el AVR/sistema de excitación 'a tope' en un sistema digital o MX. Por lo general, esta condición equivaldría a una corriente de salida de 2 veces la corriente nominal Clase 'H' diseñada del alternador.

Considere un arranque de motor realmente "grande" en el que la condición de rotor bloqueado equivalía a 3 veces la corriente nominal y, como guía de desempeño del alternador, revise la curva de cortocircuito típica para tratar de identificar el desempeño del alternador a una velocidad prácticamente constante. Solo tal vez, si los kVA de rotor bloqueado del motor tuvieran una duración de unos 20 ms y luego el motor pudiera acelerar a una velocidad tal

que la irrupción no excediera el doble de los kVA nominales durante más de 150 ms, y alcanzara la velocidad nominal requiriendo un <70% de la capacidad nominal de diseño del grupo electrógeno dentro de un tiempo total de 400mSecs; podría declararse tal capacidad de arranque del motor.

Aun así, esto supone que la velocidad del motor nunca cayó más de un 4% por debajo de la nominal, por lo que el circuito UFRO del AVR no se activó.

## **RESUMEN**

Hacer afirmaciones sobre la capacidad de arranque del motor de un grupo electrógeno simplemente identificando el motor en términos de eje kWm solo es posible si el método de arranque del motor y las expectativas de torque de la carga acoplada del motor están calificados. Esta es una situación de 'no ganar', ya que el 'usuario final' del motor que se pondrá en marcha/funcionará tendrá poca idea de las respuestas a estas dos preguntas básicas. Conocemos las expectativas de rotor bloqueado de los motores cuando se arrancan por los diversos métodos; DOL, estrella/triángulo [también conocemos la trampa de los kVA pico en la transición estrella/triángulo si no se configura correctamente durante la puesta en marcha], autotransformador, arranque suave electrónico [un conjunto completamente nuevo de problemas que no se deben considerar aquí].

La única cosa que todos estos tienen en común es una carga con arranque de motor/rotor bloqueado con un pico máximo de kVA, que impactará en el grupo electrógeno. Por qué no establecer la carga pico máximo en kVA, con un factor de potencia bajo, que el grupo electrógeno puede aceptar dentro de un TVD% aceptable (típicamente 25%) e indicar este valor en kVA de arranque del motor.

Luego, aquellos que deseen establecer que la capacidad de arranque del motor del Grupo Generador se compara con el servicio de arranque del motor requerido, pueden identificar la irrupción máxima para el motor que desean arrancar mediante el método de arranque del motor que desean usar, porque sabrán [o deberían hacerlo] que su motor desarrollará el par de arranque necesario para impulsar la carga acoplada hasta la velocidad nominal.