

Selección y Aplicación de Sistemas de Velocidad Variable

Este artículo está dirigido a ingenieros de proyectos y a ingenieros/técnicos de mantenimiento. Tiene por objeto dar algunas orientaciones básicas en cuanto a la selección de equipos (motores, variadores y maniobra)

No podemos detener el avance tecnológico. En una economía globalizada, es imprescindible que las industrias continúen invirtiendo en tecnología para lograr procesos más rápidos, más confiables, más eficientes y con mejor relación costo/beneficio.

Sistemas de velocidad variable

Un sistema de velocidad variable moderno es un sistema capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica manteniendo controlado el proceso de conversión.



Está compuesto por:

1. Un conjunto de dispositivos eléctricos y electrónicos que entrega y controla la energía eléctrica al motor. El más importante es el variador de velocidad, acompañado de elementos de maniobra tales como interruptor de potencia, contactores asociados, elementos de comando y señalización, mini interruptores y otros elementos menores.
2. Un motor eléctrico trifásico de inducción tipo jaula de ardilla (con rotor en cortocircuito).
3. Un sistema de transmisión mecánica, que transmite la energía desde el motor hacia la carga (máquina accionada), adaptando la velocidad a la necesidad del proceso. Importante tener en cuenta que a pesar de que el variador de velocidad logra operar el motor a bajas velocidades, la transmisión no puede obviarse siempre, pues la transmisión no solamente baja la velocidad sino que aumenta el torque en la salida.

Como resultado de esta conversión, se produce movimiento controlado de un proceso industrial determinado. Algunos ejemplos son: bombas centrífugas, ventiladores, bandas transportadoras, compresores, etc. Un sistema de velocidad variable también interactúa con la red eléctrica, pues es la fuente de energía que soporta el sistema y el proceso.

Recordemos que el principal tipo de motor usado en la industria es el motor eléctrico de inducción trifásico tipo jaula de ardilla. Fundamentalmente por los siguientes aspectos:

- Altos niveles de eficiencia comparado con otros tipos de motor
- Bajos costos de mantenimiento
- Bajo costo y facilidad de adquisición

- Altos grados de protección y posibilidad de uso en áreas clasificadas.

El variador electrónico de velocidad por variación de frecuencia* es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave. Adicionalmente, varía de manera controlada la velocidad del motor. Mediante la variación de la frecuencia aplicada al motor se varía la velocidad del motor con base en la siguiente relación:

$$n_s = \frac{120 * f}{p}$$

n_s : es la velocidad sincrónica
 f : es la frecuencia aplicada
 p : es el número de polos

* Comúnmente llamado drive y de otras formas más. Nos referiremos a él como CF, por sus siglas (**C**onvertidor de **F**recuencia).

Automatización

Además de las ventajas de utilizar un CF para accionar un motor jaula de ardilla, son conocidas las bondades en cuanto a los recursos de control de este equipo. Esto es, su posibilidad de conectarse con sistemas de control superiores o ser el mismo CF el cerebro de la automatización de un proceso y ejecutar acciones basadas en órdenes externas o internas, o en realimentación del proceso. Como ejemplo: controlar la velocidad y consecuentemente el flujo de un ventilador de inyección de aire en función de la temperatura de un recinto.

Cada familia de equipos tendrá un paquete de recursos de control asociados, dentro de los que son imprescindibles las siguientes:

- Entradas digitales DI
- Salidas digitales DO
- Salidas de relé RO. Se diferencian de las anteriores por tener capacidad de conexión en tensiones industriales como 110 ó 220 V
- Entradas analógicas AI
- Salidas analógicas AO

Las anteriores son agrupadas como I/Os del equipo (por sus siglas en inglés: I por entrada, O por salida).

Existe otro paquete de recursos, que dependerá de la línea, pero cuyo objetivo es facilitar la comunicación con el usuario y con otros sistemas:

- Display o interface hombre máquina (HMI)
- Módulo para comunicación con PC
- Módulos de interconexión con redes de comunicación vía Fieldbus

Selección

Siempre que estamos hablando de un CF, debemos tener presente que sólo estamos hablando de la tercera parte del sistema; el motor también debe ser estudiado durante este proceso (no es el objeto de este artículo, pero es tan importante como lo aquí detallado). La mejor y más sencilla manera de hacer una correcta selección es a través de preguntas simples, pero con respuestas complejas.

Selección y aplicación de variadores de velocidad

1. ¿Qué hace la máquina?

Las cargas son clasificadas dependiendo del comportamiento de su torque en función de la velocidad. En general, tenemos:

Torque constante:	Extrusoras, trefiladoras, compresores recíprocos, bandas transportadoras
Torque lineal:	Prensas, calandras
Torque cuadrático:	Bombas centrífugas y ventiladores
Torque hiperbólico:	Máquinas bobinadoras y desembobinadoras
Torque indefinido:	Mesas alimentadoras

Para efectos de selección de motor y de variador de velocidad, la gran mayoría de aplicaciones son consideradas como cargas de torque constante.

Mientras que sólo las bombas (de agua potable) y ventiladores son considerados como torque cuadrático (también definido coloquialmente como variable o parabólico).

2. ¿Es una modernización a la aplicación actual o es un proyecto nuevo?

De manera electrónica, el CF logra aplicar al motor frecuencias desde 0.1 Hz hasta 200 Hz sin mayor problema. En muchos procesos la limitación no es el drive, sino el motor, el sistema de transmisión o posiblemente el proceso mismo. Algunas cargas no soportarán el uso de variadores de velocidad en todo el rango de velocidad que el CF puede dar; en estos casos, es importante ver los detalles y tomar las precauciones adecuadas (generalmente cambios mecánicos en la máquina).

3. ¿Es estrictamente necesario controlar la velocidad del equipo?

Algunos textos o fuentes de información catalogan el CF como un método más de arranque de motores. Esto es correcto: es un buen método de arranque, pero su uso no debe ser indiscriminado.



En frente a métodos de arranque convencionales como el arranque directo, el arranque estrella triángulo y el arranque por auto-transformador, tiene ventajas inobjectables, como son la disminución de la corriente de arranque y la mejora del factor de potencia; aspectos conducentes a aumentar la estabilidad de las redes. Esto sumado a que el motor puede desarrollar torques de arranque altos, indicaría que es la mejor selección. Debe recordarse que el desarrollo tecnológico de la electrónica de potencia, también ha introducido a la industria el arrancador electrónico suave (SS por sus siglas en inglés: **SoftStarter**), hoy en día un dispositivo de control digital capaz de realizar arranques y paradas suaves eléctrica y mecánicamente. No hay una regla clara al respecto, pero podemos anotar que durante la decisión de utilización de un CF o un SS, deben evaluarse varios aspectos técnicos de los indicados en este texto; y los económicos también deberán tenerse en cuenta.

No hay una regla clara al respecto, pero podemos anotar que durante la decisión de utilización de un CF o un SS, deben evaluarse varios aspectos técnicos de los indicados en este texto; y los económicos también deberán tenerse en cuenta.

4. ¿Cuál es el rango de variación de velocidad?

Superado el punto anterior, pasamos a otro igualmente importante, que definirá fundamentalmente el tipo de control que el CF aplicará al motor para controlar la velocidad. Cuanto más grande sea este rango, mayor cuidado deberá tenerse en el motor. Abajo del 50% de la velocidad nominal el motor estándar reduce su capacidad de refrigeración por disminuir el caudal de aire: si la carga asociada es estrictamente de torque constante, muy posible se hará necesario dar al motor un medio de ventilación independiente de su eje. Abajo del 10% de la velocidad nominal, el torque producido por el conjunto drive-motor se ve reducido en drives convencionales que solo ofrecen control escalar. Los CF de tecnología más avanzada ofrecen control vectorial, mediante el cual el CF sabe por cálculo o por medición directa la necesidad de torque dependiendo del requerimiento de la carga.

5. ¿Cuál es el ciclo de trabajo?

Punto a considerar de manera simultánea con el anterior. Es usual oír que por debajo del 50% de la velocidad nominal se requiere uso de ventilación forzada en el motor. También es usual oír que por debajo del 10% de la velocidad nominal el motor debe llevar encoder (el CF debe tener la opción de realizar control vectorial en lazo cerrado) para garantizar un perfecto control y gran precisión. Realmente estos dos detalles dependerán del ciclo de trabajo. Esto es: cuánto porcentaje del tiempo total de operación estará el motor a una determinada velocidad. Debe compararse el torque del motor contra el torque de la carga y evaluar contra el ciclo de carga: no hay otra forma de determinar la utilización de estos accesorios.



En este punto hay que determinar con la mayor precisión posible cuál será el comportamiento dinámico del sistema completo, incluyendo motor, Sistema de transmisión y carga asociada: los tiempos de aceleración, tiempos de desaceleración, torque de arranque de motor, tipo de transición de torque desde motor hacia carga, etc. No todas las cargas se comportan igual; a pesar de que los CFs tienen muchas capacidades por firmware y software, no todas estas son aplicables a todas las cargas de manera simultánea. Por ejemplo, no es usual que un sistema de velocidad variable se aplique a una bomba centrífuga y se pretenda bajar la velocidad por debajo del 70% de su velocidad nominal, ni subir la velocidad por encima de su velocidad nominal. Velocidades más bajas traen como consecuencia presiones muy bajas y cero conducción de fluido, con el consecuente daño mecánico de la bomba; velocidades muy altas traen como consecuencia una sobrecarga elevada en motor, con la inmediata consecuencia de salida de funcionamiento del sistema completo por sobrecorriente o sobrecarga.

6. ¿Cuáles son los datos nominales del motor?

Hablando de motores eléctricos, es una costumbre referirse a ellos solamente relacionando la potencia. Yendo más a fondo, hay que tener en cuenta los siguientes parámetros de motor:

- Potencia en kilovatios (kW) o en caballos de potencia (HP)
- Tensión nominal en voltios (V)
- Frecuencia nominal en ciclos por segundo (Hz)
- Corriente nominal en amperios (A)
- Velocidad nominal en revoluciones por minuto (rpm)

Selección y aplicación de variadores de velocidad

El dato de potencia en un CF es indicativo y generalmente está relacionado con un motor estándar de 2 ó 4 polos. Motores especiales, o motores de 6 ó más polos tienen menores niveles de eficiencia y factor de potencia; con un valor de corriente generalmente mayor. Siempre debe hacerse la selección de manera que la corriente del variador de velocidad sea superior a la corriente nominal del motor.

Como se indica en otras partes del presente artículo, hay un capítulo aparte para la correcta selección de motor; pero son especialmente importantes el torque de partida nominal y el torque máximo. De esta forma se logra un proyecto casi completo.

7. ¿Cuáles son los datos nominales de la red eléctrica?

En nuestro mercado las principales tensiones en redes industriales en baja tensión son 220 V, 440 V, 460 V. Otros niveles de tensión son utilizados, pero no son tan comunes. El motor jaula de ardilla fácilmente puede tener un diseño interno que mediante un arreglo determinado de los cables puede ser conectado en tensiones 220 V ó 440 V. Por la manera en que está construido un variador de velocidad no puede conectarse indistintamente en cualquiera de las redes indicadas previamente. Se consiguen usualmente equipos con rango de tensión de 200 a 240 V, de 220 a 230 V, de 380 a 480 V ó de 575 a 690 V (este último casi no aplicable en Colombia). También debemos recordar que para niveles de potencia superiores (por encima de 500 HP), los motores tienden a ser especificados en media tensión, es decir, 4160 V. Cuando se piensa en estos niveles de tensión, lo más importante es encontrar un conjunto drivemotor que nos ofrezca amigabilidad, flexibilidad, eficiencia y confiabilidad.

Las redes en Europa y en otros países son en 50 Hz y algunas muy pocas industrias en Colombia también tienen sus sistemas eléctricos en 50 Hz. Las redes en Estados Unidos, Centro y Suramérica son en 60 Hz. Otra más de las ganancias con el uso de los variadores de velocidad es la posibilidad de utilizar máquinas diseñadas para redes de 50 ó 60 Hz, en redes con la otra frecuencia nominal, pues el CF puede dar en la salida una tensión y frecuencia diferentes de la tensión y frecuencia de entrada (red).

8. ¿Cómo son las condiciones medioambientales?

Al igual que los motores eléctricos convencionales, los variadores de velocidad tienen un sistema de refrigeración que depende del aire de ventilación. De esta manera, las condiciones de altura sobre el nivel del mar y temperatura ambiente afectarán positiva o negativamente la refrigeración del variador. Usualmente deberá hacerse una disminución de potencia efectiva del equipo si se sobrepasan las condiciones de norma (1000 msnm y 40°C).

También tenemos otros aspectos asociados como son las características propias del aire ambiente. Dentro de estas podemos mencionar:

- Polvo magnético
- Polvo conductivo
- Humedad
- Área clasificada

En la gran mayoría de los casos, los variadores de velocidad deberán ser instalados dentro de tableros o gabinetes que deberán cumplir unas características mínimas. Para que el equipo tenga un funcionamiento libre (en lo posible) de errores "fatales" las recomendaciones del fabricante deben seguirse detalladamente según el manual de usuario.

9. ¿Cómo será controlado y monitoreado el equipo?

Desde la operación manual hasta la integración con un sistema superior de control como un PLC o un DCS, el CF está en capacidad de responder. Dependiendo de cuántas órdenes queremos que el equipo reciba y ejecute; y de cuántas variables sea necesario monitorear del equipo y del proceso, será considerada la cantidad de I/Os del equipo.

Selección y aplicación de variadores de velocidad

Mediante las entradas digitales (contactos abiertos o cerrados) se da al CF órdenes tales como: habilitación general de funcionamiento, marcha/paro con selectores, marcha/paro con pulsadores, cambio de sentido de giro (posible en un CF sin necesidad de contactores), marcha en velocidades predeterminadas (tener en cuenta cuántas se requerirán), marcha en velocidad de prueba, indicación de error externo, selección de lugar de control, control de velocidad del tipo de potenciómetro electrónico, activación de controlador PID, entre otras. Los CF modernos tienen 4 ó 6 DI, siendo posible ampliar este número con el uso de tarjetas expansoras de entradas.

Las entradas analógicas (señales de 0 a 10 V DC o de 0 a 20 mA DC) son usadas para dar referencia de velocidad al CF. Esta referencia puede provenir sencillamente de un potenciómetro industrial, como también de un PLC o directamente de un transductor de alguna variable de proceso: presión, caudal, nivel, temperatura, humedad relativa, masa, velocidad lineal, etc. En el caso del controlador PID interno, esta señal será considerada como valor real. Es común encontrar CF con 1 AI ó 2 AI; también es posible ampliar este número con tarjetas expansoras.

Las salidas de relé o salidas digitales tienen el objetivo de visualizar el estado del CF así como ciertos eventos que se quiere visualizar o indicar al sistema superior. Las siguientes son las indicaciones que generalmente se pueden dar a través de estas salidas: convertidor listo, en marcha, con error, velocidad real igual a una velocidad predeterminada, velocidad real superior/inferior a una velocidad predeterminada, torque igual a un torque predeterminado, torque superior/inferior a un torque predeterminado. La cantidad de ROs y DOs del equipo varía dependiendo de la línea de CF, pero también puede ser expandible.

Las salidas analógicas son proporcionales a ciertas variables del CF. Es posible dar indicación a mandos externos de los siguientes parámetros: corriente de convertidor, velocidad de referencia, velocidad de salida, tensión en el circuito intermedio, tensión aplicada a motor, potencia de salida, torque de salida, variable proporcional a la velocidad (variable de proceso: no directamente sino por proporcionalidad a la velocidad de salida), etc.

Un ejemplo muy sencillo del uso de las I/Os es el siguiente: supongamos que tenemos un PLC que antes de dar marcha al motor, requiere saber si el CF está listo; además, para controlar la velocidad sobre la velocidad mínima, requiere que el CF le indique que está en marcha. Encadenamos así: si el CF está listo, activa una RO, que se realimenta al PLC; el PLC recibe esta indicación y envía una señal de marcha al CF que llega como una DI; el CFW ejecuta su acción de marcha y activa una RO con la indicación de que está en marcha; el PLC recibe esta realimentación y da orden de cambiar la velocidad mediante la modificación de una salida analógica que se convierte en entrada analógica para el CF. También es posible llevar al PLC la indicación, por ejemplo, del nivel de corriente del equipo, para que ante un aumento súbito, sea el PLC quien tome la decisión de qué hacer.

A estas señales I/Os las clasificamos en general con el nombre de recursos de control. El éxito en la utilización de estos recursos está en la pericia del programador para utilizarlas al máximo. En ocasiones es posible hacer una buena configuración con las I/Os de un CF básico, pero para ello es necesario conocerlo muy bien. En caso de limitación en estos recursos, queda la opción de complementar ciertos comandos con controles convencionales, como pulsadores con retención, selectores externos, acción directa sobre contactores o interruptores asociados.

Consideraciones finales

Todas las preguntas realizadas previamente deben tener respuestas concretas, posibles de tabular en una hoja técnica de selección. Especificar un variador de velocidad simplemente por su potencia y tensión, no es lo más correcto, porque cualquier detalle no considerado se puede convertir fácilmente en una incompatibilidad entre la necesidad inicial y la ejecución final. Junto con el CF deben escogerse los dispositivos de maniobra, pues de nada sirve tener un excelente equipo en la aplicación, si sus accesorios y elementos asociados no cumplen los mismos niveles de calidad y confiabilidad. Debe siempre tenerse presente que el CF está encaminado a controlar un motor y un proceso; por tanto, su selección nunca podrá ser aislada.