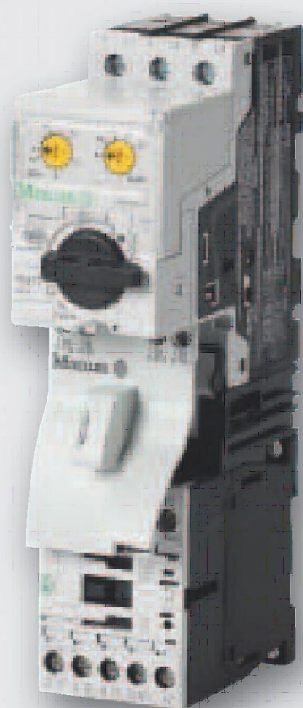
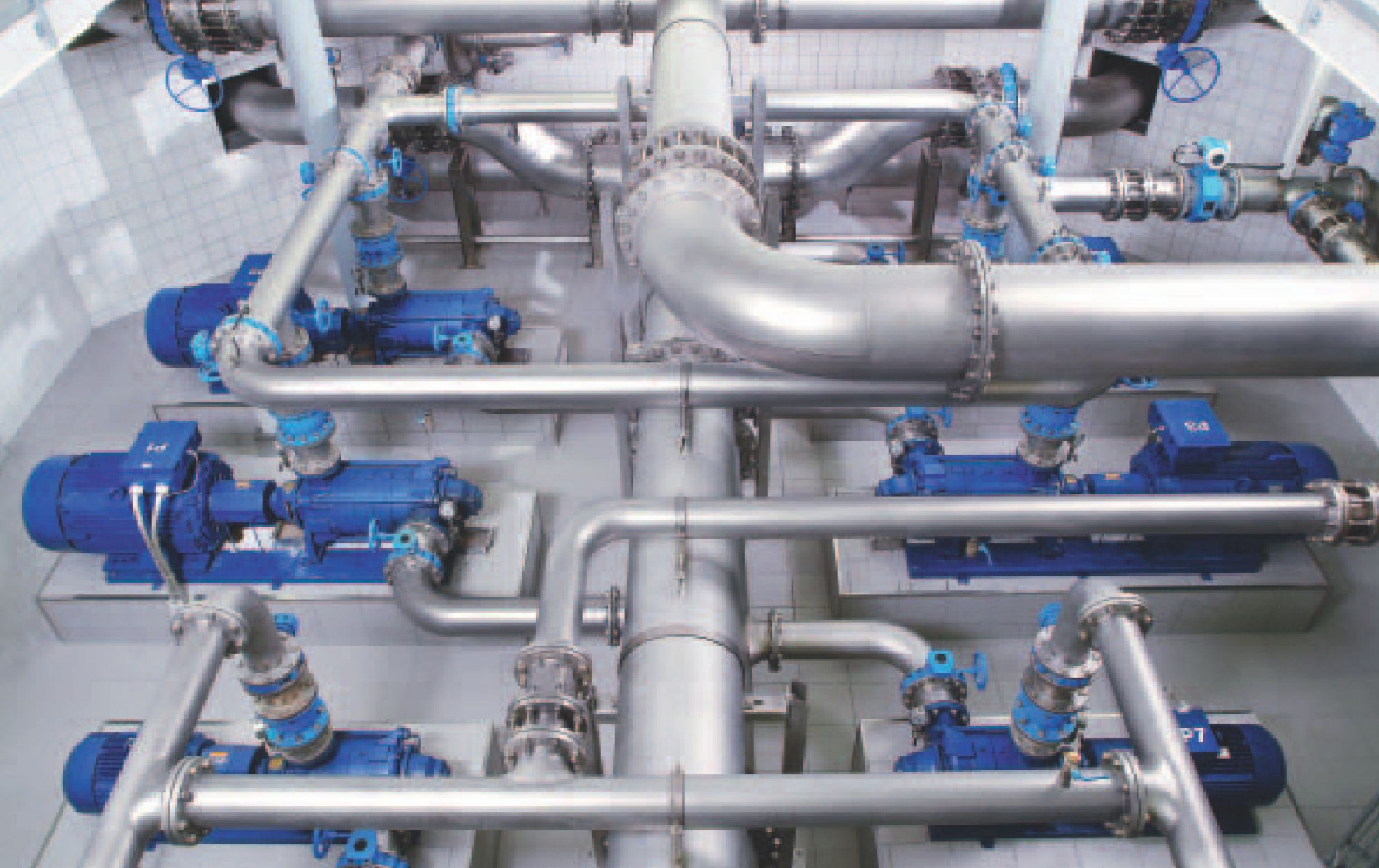


INFORME TECNICO: IT-EE09(11/11)

Arranque y control de motores trifásicos asíncronos





Prólogo

El motor trifásico asíncrono es el motor más usado en el mundo de las instalaciones industriales y en grandes edificios. Simple en términos de diseño y manejo, flexible en diversos campos de aplicación y con un funcionamiento económico. Es la solución más favorable cuando hablamos de relación calidad-precio.

Lo que caracteriza al motor trifásico es el alto consumo de intensidad cuando lo alimentamos con carga a través de un arranque directo. Cuando aplicamos tensión directa lo que obtenemos es una sobreintensidad que puede causar caídas de tensión de red y problemas en los sistemas mecánicos.

Desde la invención del motor trifásico – ya hace más de 100 años (1889) – se han desarrollado diferentes conceptos y soluciones para la puesta en marcha, que tienen por objetivo eliminar efectos secundarios desagradables. Sin embargo, para que estos conceptos y soluciones cumplan el deseo de un rendimiento óptimo y satisfactorio en la puesta en marcha, dependerá de la aplicación y, finalmente, de los aspectos económicos.

Para facilitar una descripción simplificada, se presentarán los cuatro métodos de arranque y control de motores asíncronos más importantes y conocidos. En el proceso, prescindiremos deliberadamente de la descripción y las funciones de los dispositivos, y de los conocimientos generales básicos del accionamiento eléctrico.

Variantes de arranque para motores trifásicos asíncronos.

En lo que respecta a la construcción y a la conexión del devanado del rotor pasivo, el motor trifásico asíncrono también se conoce como un motor de jaula de ardilla o rotor de jaula de ardilla (motor). Comparable con un transformador de rotación y de acuerdo con su modo de acción, también se usa generalmente el término motor de inducción. A los diseños con bobinados separados se les conoce como conexión Dahlander o motores de polos conmutables. Otra variante es el anillo colector del rotor (motor). En este caso, las bobinas del rotor están conectadas a tres anillos colectores y sólo están interconectados usando resistencias externas al motor.

Así como las diferentes formas y denominaciones del motor asíncrono también hay diversidad en los modos de alimentación para el arranque y el control. Para facilitar una descripción simplificada, los cuatro arranques de motor más conocidos e importantes serán examinados a continuación. Con entrada de alimentación trifásica en AC, neutro y toma de tierra (3 / N / PE / 50/60 Hz).

Eaton Moeller ofrece una gama completa de arranques de motor para la conexión, la protección y el control de motores trifásicos asíncronos para toda la gama de variantes de arranque que se muestra a continuación.

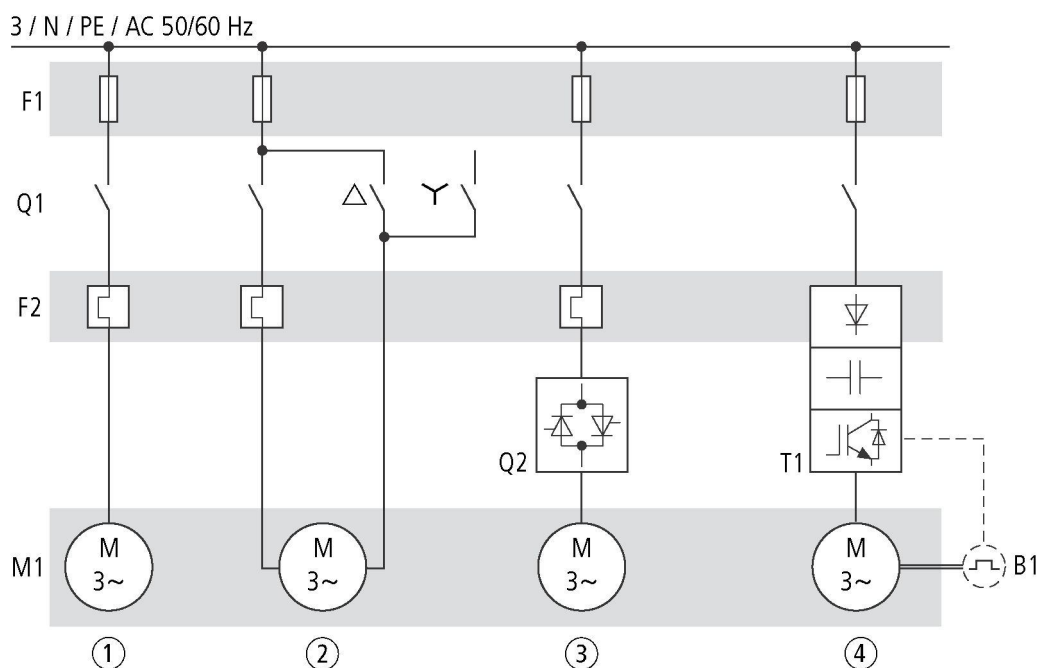


Figura 1: Variantes de arranque de motor.

F1 = fusible (Protección de línea y cortocircuito)

Q1 = Conmutación (contactores)

F2 = Protector de motor (Protección contra sobrecarga)

M1 = Motor trifásico asíncrono

① Arranque directo.

② Arranque estrella-triángulo, el arranque más conocido y utilizado.

③ Arrancador suave (Q2), El arranque continuo y sin picos. Una alternativa moderna al arranque estrella-triángulo.

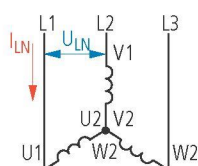
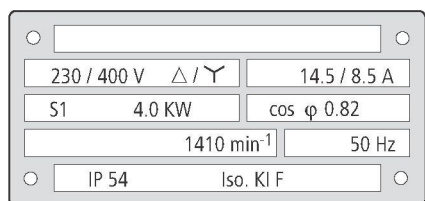
④ Convertidor de frecuencia (T1), Arranque controlado y continuo del motor con par nominal de la carga. Los convertidores de frecuencia también permiten el control de la velocidad y cuenta con una electrónica para la protección del motor. (I_{2t}). Dependiendo de las características, también podemos controlar el posicionamiento del motor usando un generador de pulsos (B1).

Conexión de un motor trifásico

Cuando se alimenta un motor trifásico, los datos de la placa del motor deben corresponderse con la tensión y la frecuencia de alimentación. La conexión está implementada a través de los tornillos (versión estándar) en

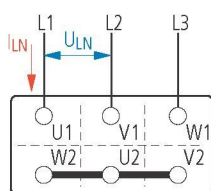
el cajetín de conexiones del motor y debemos hacer una distinción entre dos tipos de conexión, la conexión en estrella y la conexión en triángulo. Ejemplo con una alimentación de 3 AC 400 V, 50 Hz (ver figura 2).

Conexión en estrella



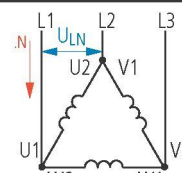
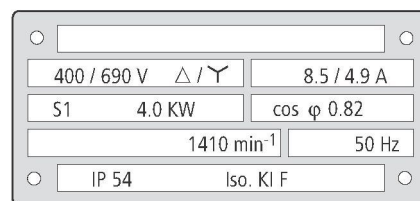
$$U_{LN} = \sqrt{3} \cdot U_W$$

$$I_{LN} = I_W$$



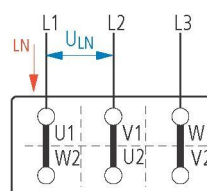
- Con una especificación de tensión de 230/400 V, este motor debe estar conectado a la red trifásica ($U_{LN} = 400$ V) con una configuración en estrella.
- Cada devanado del motor está diseñado para soportar un máximo de 230V.
- Los tres terminales (W2, V2, U2) se conectan entre sí (conexión estrella) para que la tensión entre los terminales de entrada (U1, V1, W1) y el punto intermedio (estrella) sea 230V.

Conexión en triángulo



$$U_{LN} = U_W$$

$$I_{LN} = \sqrt{3} \cdot I_W$$



- Con una especificación de tensión de 400/690 V, este motor debe estar conectado a la red trifásica ($U_{LN} = 400$ V) con una configuración en triángulo.
- Cada devanado del motor está diseñado para soportar un máximo de 400V y podemos conectarlos directamente.
- Para un arranque directo, los terminales de los tres devanados deben estar conectados entre sí (conexión triángulo) para que la tensión entre los terminales de entrada (U1, V1, W1) sea 400V.

Figura 2: Conexión del motor en sentido horario.

En general, las propiedades de un motor trifásico se definen en las normas (DIN / VDE 0530, IEC / EN 60034). Sin embargo, el diseño constructivo es dominio de los fabricantes. Por ejemplo, en un mercado sensible a los precios, los motores de pequeñas potencias (<4 kW) – que suelen usarse para bombas y ventiladores – frecuentemente los podemos encontrar sin cajetín de conexiones. Aquí los devanados están conectados internamente en configuración estrella, y sólo disponemos de tres cables para conectarlos a la tensión asignada.

Independientemente del diseño (con / sin cajetín de terminales), las conexiones del motor trifásico se denotan por su orden alfabético (por ejemplo, U1, V1, W1) se corresponde con la secuencia de tensión de red (L1, L2, L3) y hace que el motor gire en sentido horario. El sentido de giro se especifica mirando directamente al eje del motor. En motores con dos ejes, el extremo de accionamiento se denomina "D", y el extremo de no accionamiento "N" (D = drive, N = no drive). La rotación antihoraria del motor se consigue intercambiando dos fases de la tensión de entrada.

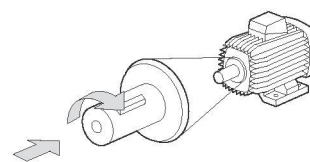
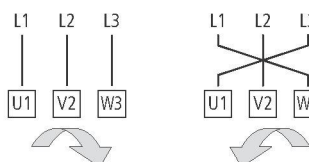
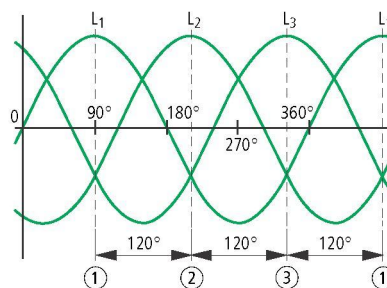


Figura 3: Rotación horaria: Secuencia de fases – Cajetín de terminales – Extremo de accionamiento.

El punto de operación (M_M) del motor trifásico asíncrono está descrito por el rango de tensión nominal y la frecuencia correspondiente (ej. 400 V / 50 Hz). La velocidad (de rotación) se determina por la frecuencia de la red eléctrica ($n \sim f$). Esto depende de la carga y sólo se mantiene siempre y cuando el par del motor (M_M) y par de carga (M_L) tengan la misma magnitud.

Los datos nominales de potencia eléctrica y mecánica del punto óptimo de trabajo deben estar especificados en la placa de características del motor. Los datos de la operación son inestables durante el proceso de arranque (proceso de aceleración). La unidad solo será estable en el punto óptimo de trabajo (M_M).

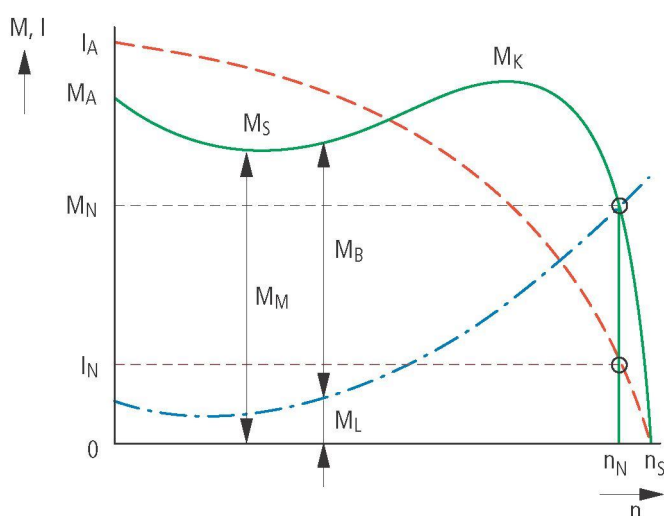


Figura 4: Curva característica del arranque de un motor trifásico asíncrono.

- I_A = Intensidad de arranque.
- I_N = Intensidad nominal en el punto de trabajo
- M_A = Par de arranque
- M_B = Par de aceleración ($M_M > M_L$)
- M_K = Máximo valor del par
- M_L = Par de la carga
- M_M = Par del motor (punto de trabajo)
- M_N = Par nominal de la carga
- n = Velocidad (valor actual)
- n_N = Velocidad nominal en el punto de trabajo
- n_s = Velocidad de sincronización
- ($n_s - n_N$ = Velocidad de deslizamiento)

$$P = \frac{M_N \cdot n}{9550} \quad P = [\text{kW}] \quad f = [\text{Hz}] = 1/\text{sec}$$

$$M_N = [\text{Nm}] \quad n = [\text{min}^{-1}] \quad 1 \text{ min} = 60 \text{ sec}$$

$$n = \frac{f}{p} \cdot (1 - s) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \%$$

Arranque de motor directo

El arranque de motor directo es el método más sencillo para arrancar un motor trifásico asíncrono. Los devanados del estator están conectados directamente a la red eléctrica por un proceso de conmutación simple.

Como resultado de esta aplicación obtendremos altas corrientes de arranque (corriente de sobrecarga) que a su vez causan molestas caídas en la tensión de red. Por este motivo, las compañías eléctricas suelen limitar la potencia nominal de los motores conectados a la red. Este valor límite puede variar de una red a otra. En redes eléctricas públicas, estas limitaciones por lo general se cumplen cuando en el arranque la potencia aparente del motor trifásico no excede de 5.2kVA o cuando es de mayor potencia aparente pero la corriente de arranque no excede de 60 A. Con una tensión de red de 400 V y un arranque 8 veces la intensidad nominal, esto corresponde a un motor con una intensidad nominal de 7.5 A o un motor de 4 kW.

En motores que ocasionalmente sobrepasan los 60 A de corriente de arranque y motores con una intensidad de arranque de más de 30 A que causan alteraciones en la red pública, ej. Por arranques pesados, alta frecuencia de conmutación o variación en el consumo (ascensores, sierras de corte), se deben tomar medidas alternativas para las variaciones disruptivas de tensión. Los motores con potencias de más de 4 kW y tensiones nominales de 400/690 V pueden arrancarse usando una configuración estrella-triángulo.

El arranque directo crea un estrés térmico en los devanados del motor y, solo brevemente, fuerzas electrodinámicas momentáneas. Con frecuencia, el arranque directo reduce la vida de los devanados de un motor estándar (p.ej. Operaciones periódicas intermitentes).

El bloqueo del rotor (rotor bloqueado) es un fallo grave que puede llevar a la destrucción térmica del motor trifásico asíncrono. Cada devanado del motor debe estar protegido por un dispositivo de protección para evitar que ocurran este tipo de sobrecargas térmicas. Una solución económica es el uso de relés de sobrecarga, más conocidos como relés térmicos o relés bimetalicos.

Estos relés de sobrecarga se conocen como interruptores protectores de motor en combinación con un módulo de conexión. El sinónimo de esto es el PKZM. En la alimentación del motor, este protege la conmutación (contacto DILM), la acometida y los devanados del motor contra su destrucción debido a una sobrecarga térmica (rotor bloqueado) y cortocircuito, aun cuando tengamos una pérdida de fase (L1, L2, L3). Para este propósito, debemos establecer en el interruptor protector de motor la corriente nominal del motor y los cables de conexión deben de estar calculados para este valor.

El diseño de los componentes en el circuito principal del motor se lleva a cabo de acuerdo con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-3 (Norma IEC/EN60947-4-1), AC-3 = motores de jaula de ardilla: arranque, paro durante la operación

La selección de un interruptor protector adecuado es decisiva para la seguridad del funcionamiento y de la vida útil del motor. La combinación de arranque de motor (MSC) ofrece una solución ideal para el arranque directo del motor. El MSC en su diseño estándar consiste en un interruptor protector de motor PKZM0 y un contactor DIL enchufables. En la versión MSC-DE, el interruptor protector de motor PKE para corrientes de motor de hasta 65 A, ofrece una alternativa innovadora a las soluciones bimetalicas (PKZM0). Con su alto nivel de flexibilidad y los mismos accesorios, el MSC-DE cumple con todas las demandas del cliente.

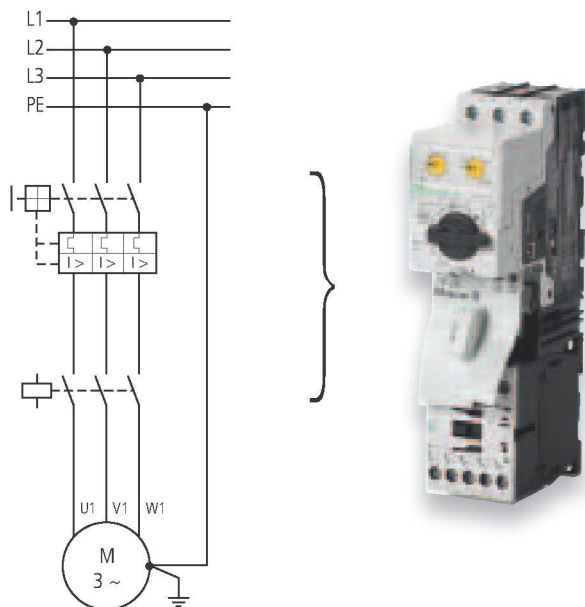


Figura 5: arranque directo, sentido de rotación horario, ejemplo de un MSC.

Arranque estrella-triángulo

Con un arranque de motor estrella-triángulo, la puesta en marcha del motor trifásico asíncrono se realiza mediante una transición entre los devanados. Los puentes en el cajetín de bornes del motor se omiten, y las 6 conexiones de los devanados se conectarán a la red eléctrica mediante una conmutación llamada estrella-triángulo (conmutación manual o automática de los contactores).

Durante el funcionamiento, los devanados del motor están conectados en triángulo. El voltaje del devanado (U_w), por lo tanto debe ser igual a la tensión de fase (L_{SN}) del sistema trifásico. Por ejemplo, en una tensión de red de 3 AC 400 V, el voltaje en la placa de características del motor debe estar especificado como 400/690 V.

En una conexión en estrella, la tensión de red (L_{SN}) de los devanados individuales del motor se reduce por un factor de $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58$). Por ejemplo: $400 \text{ V} \cdot 1/\sqrt{3} = 230 \text{ V}$. El par de arranque y la corriente de entrada (en la conexión en estrella) se reduce a un tercio de los valores de la conexión en triángulo. Corriente de arranque típica: $2 \dots 2,5 I_e$.

Debido a la reducción del par en el arranque, la configuración en estrella-triángulo sólo es adecuada para aparatos con un par de carga baja o un par de carga (M_L) que aumenta con la velocidad, como es el caso de bombas y ventiladores (ventiladores / extractores). También se utilizan en unidades que solo están sujetas a una carga después de haber acelerado de velocidad, por ejemplo, con prensas y centrífugas.

Con el cambio de configuración de estrella a triángulo, la corriente cae a cero, y la velocidad del motor se reduce en función de la carga. El paso a triángulo provoca un aumento espectacular de la corriente, así como la aplicación de toda la tensión de red en los devanados del motor. Esto provocará caídas de tensión en sistemas de suministro de red poco fiables o débiles. El par motor también sube a un valor más alto durante la transición, lo que causa una carga adicional sobre todo el sistema. Si, por ejemplo, las bombas funcionan con arrancadores estrella-triángulo, a menudo se utiliza un freno mecánico para proporcionar una amortiguación en el sistema y evitar los llamados "golpes de ariete".

La transición automática de estrella a triángulo generalmente se realiza mediante un relé temporizador en el contactor de línea. El tiempo requerido para el arranque en estrella depende de la carga del motor y debe continuar hasta que el motor haya alcanzado cerca del 75 al 80% de su velocidad de funcionamiento (n_N) para garantizar la post-aceleración necesaria para el cambio a triángulo. Esta post-aceleración de la configuración en triángulo está asociada con altas corrientes como en el caso del arranque directo.

Una conmutación demasiado rápida entre la estrella y el triángulo puede dar lugar a la desconexión del arco (en los contactos de los contactores) y puede causar un corto circuito. El intervalo de tiempo de transición debe ser tal, que sea suficiente para eliminar los arcos. Al mismo tiempo, la velocidad de la unidad se debe reducir lo menos posible. Existen relés temporizadores especiales para cumplir con la transición estrella-triángulo.

Diagrama de conexión de una configuración estrella-triángulo.
Con protección bimetalica.
 $0,58 \times I_e$
 $t_a \leq 15 \text{ s}$

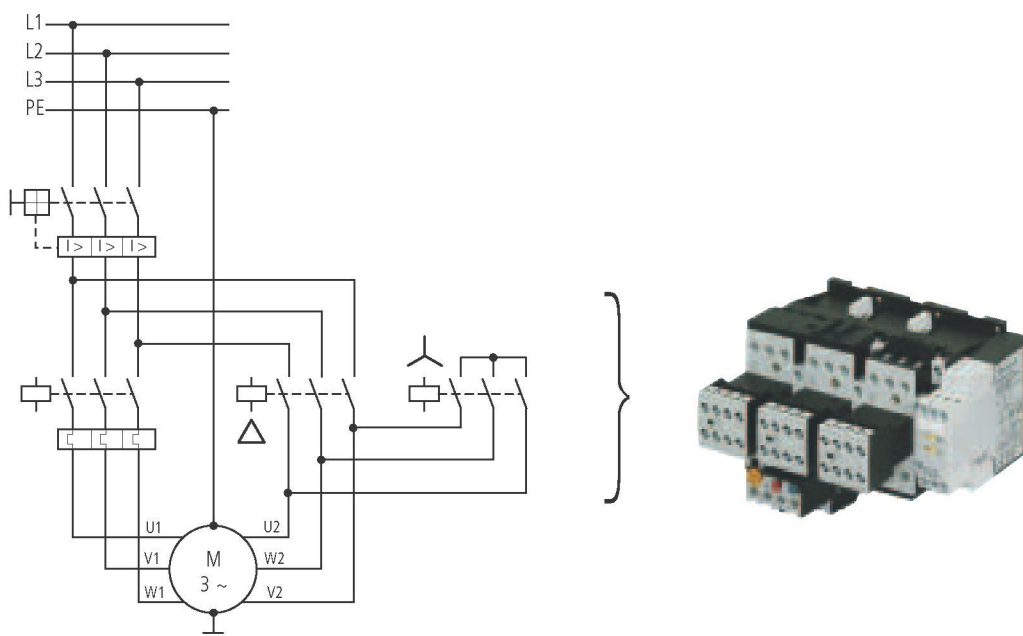


Figura 6: Arranque estrella-triángulo, sentido de rotación horario, ejemplo de un SDAINL

La secuencia de fases correcta (ver figura 6) para el paso de estrella a triángulo se debe tener en cuenta al conectar los conductores del motor y el arrancador. Debe considerarse la dirección de funcionamiento del motor. Una conexión incorrecta de las fases puede provocar altas corrientes de pico en el arranque, a causa de la ligera disminución en la velocidad durante el intervalo del cambio. Los picos de corriente ponen en peligro los bobinados del motor y los contactos de conmutación innecesariamente.

Cuando arrancamos con la conexión en estrella, en primer lugar el contactor de estrella puentea los terminales U2, V2, W2. A continuación, el contactor principal aplica la tensión de red (U_{LN}) en los terminales U1, V1, W1. Después de transcurrir el tiempo programado, el relé temporizador desconecta el contactor de estrella y conecta el contactor de triángulo aplicando la tensión de red a los terminales U2, V2 y W2.

La elección de los componentes para la conexión del motor se lleva a cabo en concordancia con la corriente de funcionamiento, es decir, del motor y con la categoría de empleo AC-3 (Norma IEC/EN60947-4-1), AC-3 = motores de jaula de ardilla: arranque, paro durante la operación. El relé térmico se colocará aguas abajo del contactor principal. Estableceremos por tanto un factor de corriente $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58 \cdot I_e$) por debajo de la corriente nominal del motor. El contactor principal y el de triángulo también se seleccionan con este factor de reducción ($\sim 0,58 \cdot I_e$). El contactor estrella para un arranque de no más de 15 segundos debe seleccionarse con un factor de un tercio ($\sim 0,33 \cdot I_e$) de la corriente nominal del motor. En tiempos de arranque ($>15s$) de hasta 60 segundos, el contactor de estrella debe seleccionarse de la misma magnitud que el contactor principal.

Arrancadores suaves

En muchos casos, el arranque directo o el arranque estrella-triángulo del motor trifásico asíncrono no es la mejor solución ya que altas corrientes de pico pueden influir en el suministro eléctrico y un aumento repentino del par puede inducir a los componentes mecánicos de la máquina o al sistema a altos niveles de estrés.

El arrancador suave proporciona un remedio. Permite un aumento continuo y lineal del par y ofrece la posibilidad de una reducción selectiva de la corriente de arranque. La tensión del motor se incrementa a partir de una tensión inicial y un tiempo de rampa de aceleración, seleccionados mediante selectores hasta llegar a la tensión nominal del motor. El arrancador también puede controlar la rampa de parada mediante la reducción de la tensión.

La curva característica del motor asíncrono trifásico sólo se aplica cuando la tensión del motor es igual a la tensión de red (U_{LN}). Si aplicamos una tensión inferior, obtendremos una reducción cuadrática en el par ($M \sim U^2$). Cuando lo comparamos, por ejemplo, con un arranque estrella-triángulo, la tensión del motor se reduce hasta el 58% ($\sim 1/\sqrt{3}$), y el par se reduce a alrededor del 33% (un tercio)

La diferencia entre las características de la carga (M_L) y las características del par motor (M_M), y por consiguiente la fuerza de aceleración, puede estar influida por medio del ajuste del voltaje del motor. El arrancador debería ser preferido para todas las aplicaciones con un arranque con carga (la carga no se puede conectar después de la puesta en marcha) que la configuración estrella-triángulo. Es una buena alternativa a la configuración en estrella-triángulo por razones económicas y también por razones de ahorro de energía, en particular para unidades de alta potencia.

La tensión del motor en un arrancador se modifica por el control del ángulo de cada fase en media onda sinusoidal. Con este fin, dos tiristores en cada una de las fases están conectados en antiparalelo, uno de ellos para la media onda positiva y el otro para la media onda negativa.

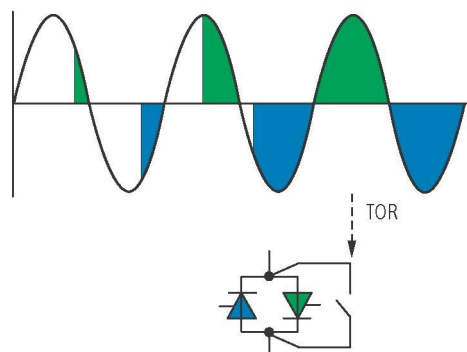


Figura 7: Control del ángulo de fase y contacto de Bypass.

Cuando la rampa de aceleración (t_{Start}) ha finalizado, los tiristores están completamente controlados (media onda sinusoidal completa => fin de rampa: TOR).

Como los tiristores sólo están activos durante la fase de aceleración o durante la fase de desaceleración, pueden ser Bypassados a través de los contactos de Bypass durante la operación continua. Las pérdidas en el arrancador suave se pueden reducir gracias a la inferior resistencia que ofrecen los contactos mecánicos de la conmutación.

Hoy en día, en arrancadores suaves, podemos hacer una diferenciación entre dos variantes en la configuración de potencia (figura 8).

• Dos fases controladas • Fácil manejo, con 3 valores de ajuste (t_{Start}, U_{Start}, t_{Stop}) • Controlado por tiempo, rampa de tensión lineal • Generalmente con Bypass interno • Precio atractivo para alternativa al arranque estrella-triángulo. • Configuración solo en línea. • De motores pequeños a medianos (<250 kW)	• Tres fases controladas • Para tareas exigentes • Aplicaciones preseleccionables • Programable • Circuitos de control y lazo cerrado. • Con limitación de corriente (I^2t) y funciones de protección de motor. • Comunicación (Interface de bus) • Configuración en línea e "in-delta" • Para motores a partir de 7,5kW aprox.

Figura 8: Características de arrancadores suaves

El tiempo de aceleración de una unidad con un arrancador suave es el resultado de la configuración de la tensión de arranque (U_{start}) y el tiempo de rampa (t_{start}) para el aumento lineal hasta la tensión de completa de red (U_{LN}). La tensión inicial determina el par de arranque del motor. Una alta tensión de inicio y un tiempo de rampa corto corresponde aproximadamente a un arranque directo. En la práctica, el par de arranque necesario (U_{start}) y el tiempo de rampa (t_{start}) se configuran de acuerdo a los requisitos del arranque.

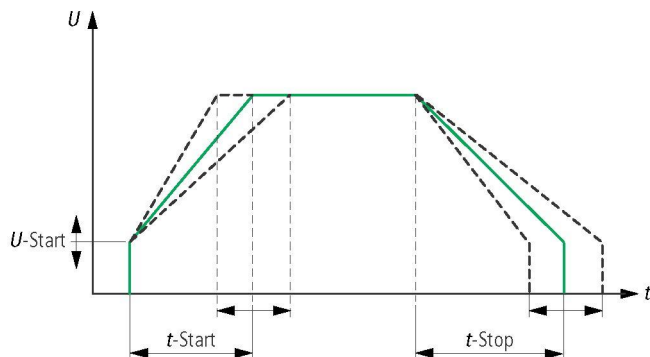


Figura 9: Curva de tensión en un arranque suave.

El tiempo de rampa ajustado (t_{start}) no es el tiempo real de aceleración de la unidad. Esto depende de la carga y el par de arranque. El tiempo de rampa sólo controla el cambio en la tensión. En el proceso, la corriente aumenta al máximo y luego cae a la corriente nominal, después conseguimos la velocidad nominal del motor. La corriente máxima entonces se fija para adaptarse a la unidad (motor más carga) y no puede determinarse de antemano. Como resultado, las unidades sometidas a altas cargas en relación con tiempos de rampa largos pueden conducir a una excesiva carga térmica en los tiristores.

Si no podemos superar un determinado nivel de corriente, debemos seleccionar un arrancador suave con limitación de intensidad. Esta variante de arranque está con frecuencia estipulada por las compañías de suministro eléctrico cuando unidades de gran tamaño están conectadas a la red pública (por ejemplo, bombas de elevación, ventiladores para sistemas de ventilación de túneles).

Los arrancadores también permiten controlar el tiempo de reducción de tensión del motor y por lo tanto controlar la rampa de parada de los motores.

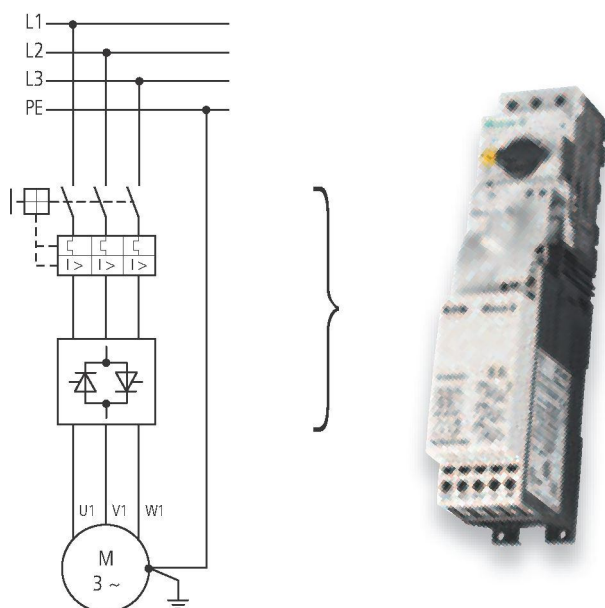


Figura 10: Alimentación del motor, Arrancador suave DS7, configuración "en línea" con PKZM0

El tiempo de parada establecido (t_{stop}) debe ser más largo dependiendo de la carga o usar una parada sin tiempo "parada libre" de la carga. Los tiristores del arrancador suave también están sujetos a las mismas tensiones térmicas que estuvieron presentes durante el proceso de arranque. Si, por ejemplo, el arrancador está preparado para soportar 10 arranques por hora, estarán permitidos 5 arranques por hora (más 5 paradas por hora). El tiempo de rampa de parada (t_{stop}) puede seleccionarse independientemente del tiempo de arranque, se requiere con frecuencia en bombas para evitar ondas de presión (golpes de ariete). También se pueden prevenir movimientos espasmódicos que en una parada libre, por ejemplo, pueden provocar un mayor desgaste en correas o cadenas de transmisión y rodamientos.

El diseño del circuito de conmutación y protección (componentes electro-mecánicos) del circuito principal debe llevarse a cabo en concordancia con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-3 (norma IEC 60947-4-1). El diseño del arrancador se lleva a cabo en concordancia con la intensidad nominal (I_e) del motor y la categoría de empleo AC-53a o AC-53b (norma IEC/EN60947-4-2):

- AC-3 = Motores de jaula de ardilla: arranque – paro durante la operación.
- AC-53a = control de motores de jaula de ardilla: funcionamiento continuo con arranques de procesos, maniobras, operaciones.
- AC-53b = control de motores de jaula de ardilla: funcionamiento intermitente (funcionamiento intermitente significa que el arrancador se bypassa durante un funcionamiento continuo, por ejemplo, un conector de bypass).

La configuración "en línea" corresponde con la alimentación del motor durante un arranque directo. Sólo conectaremos tres cables al motor en los conectores U1, V1 y W1. Los extremos de los bobinados se configurarán en estrella o en triángulo dependiendo de la tensión nominal del motor.

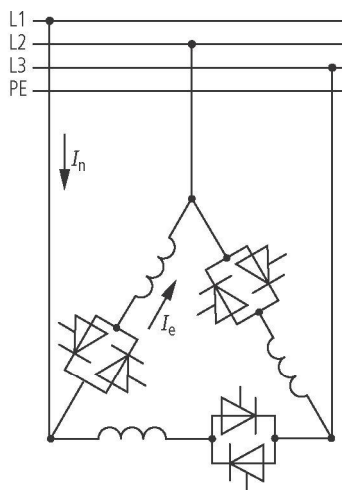


Figura 11: Configuración "in-delta"

La configuración "in-delta" sólo es posible con arrancadores suaves con control de las tres fases. Los bobinados del motor están conectados individualmente en serie con los tiristores en triángulo. El diseño del arrancador en esta configuración puede ser de un factor de $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58 \cdot I_e$) menor que la corriente nominal del motor. Desde un punto de vista económico, esta es una variante de conexión interesante para altas potencias de motor.

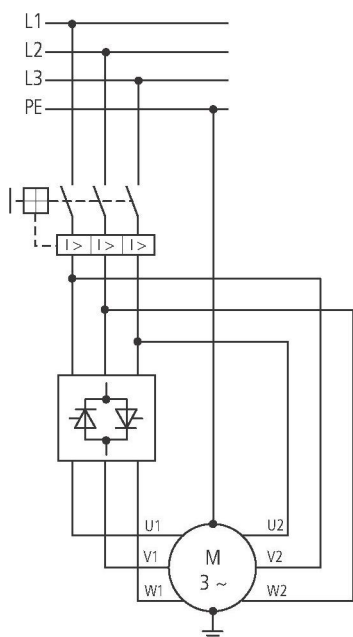


Figura 12: Alimentación del motor, arrancador suave DM4, configuración "in delta"

Podemos incluir también un relé térmico a la salida del arrancador suave y también se puede reducir con el factor $1/\sqrt{3}$ ($\sim 0,58 \cdot I_e$) inferior a la corriente nominal del motor. Si el relé está instalado en el suministro de red, tendrá que ser evaluado al igual que el contactor o el conmutador usando la corriente asignada de empleo (I_e) del motor

Convertidores de frecuencia

El convertidor de frecuencia es en última instancia, la mejor solución para un arranque continuo y sin escalones de motor asíncrono trifásico. La limitación de corriente ajustable evita los picos de corriente en el suministro de red eléctrica y repentinas cargas en las partes mecánicas de la máquina y en los sistemas.

Además del arranque suave, el convertidor de frecuencia también permite el control de la velocidad (frecuencia) del motor. Considerando que los motores estando conectados directamente a la red eléctrica sólo pueden lograr las condiciones ideales de funcionamiento en el punto de estado de funcionamiento constante (= indicación de la placa de características), pueden ser utilizados en todo el rango de velocidades con el control de frecuencia, por ejemplo, desde 4V a 0,5Hz a 400V 50Hz. La relación constante de voltaje / frecuencia (V/f) garantiza puntos independientes que operan con el par nominal de la carga (M_M).

En comparación con las soluciones anteriormente descritas, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista. El mayor coste de adquisición y las medidas adicionales sobre la instalación (cables blindados y filtro RFI para la compatibilidad electromagnética, EMC) son las principales razones. Pero durante una operación a largo plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos. Esto es especialmente cierto para bombas y ventiladores. Por la adecuación de la velocidad de rotación del proceso de producción y la compensación de interferencias externas, el convertidor de frecuencia garantiza una vida útil más larga y una mejor seguridad funcional.

Otras ventajas de los convertidores de frecuencia incluyen la estabilidad a altas velocidades con fluctuaciones en la carga (fluctuaciones por debajo de un 1%) y la opción de cambio en el sentido de giro. A medida que se genera el campo de rotación del convertidor de frecuencia, un simple comando de control es todo lo que se requiere para cambiar la secuencia de fases y la dirección de giro del motor. La protección electrónica del motor (control de I^2t) integrada en los convertidores de frecuencia también asegura un funcionamiento sin la necesidad de medidas adicionales de seguridad (relés de sobrecarga). Dependiendo del método de aplicación, parametrizar los rangos de temperatura en el convertidor de frecuencia proporcionan un mayor nivel de protección térmica del motor. La completa protección del motor también es posible en combinación con termistores. La detección de sobrecarga y subcarga también pueden mejorar la seguridad operacional de la unidad.

El convertidor de frecuencia funciona como un convertidor de energía de la alimentación de un motor. El convertidor obtiene la corriente activa desde la red eléctrica a través del rectificador y suministra al motor corriente activa y reactiva a través del inversor. La potencia reactiva necesaria para el funcionamiento del motor es proporcionada por los condensadores del circuito intermedio. En cuanto a la red eléctrica se refiere, el convertidor de frecuencia se comporta prácticamente como una carga resistiva ($\cos \phi \sim 1$).

La conversión de energía y los tipos actuales asociados se deben considerar en el diseño de los dispositivos de conmutación y de protección de la derivación a motor. A tal efecto, los componentes electromecánicos (por ejemplo, fusibles, reactores de línea, contactores de red) aguas arriba del convertidor de frecuencia se dimensionan de acuerdo con la corriente de entrada (corriente activa corriente) y la categoría de empleo AC-1 (norma IEC60947-4-1). Los componentes de la salida del variador de frecuencia (por ejemplo, los reactores de motor, filtros de onda, los cables del motor) se dimensionan de acuerdo con la corriente de funcionamiento del motor conectado y la categoría de empleo AC-3.

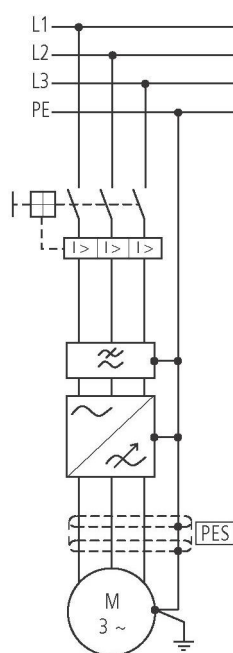
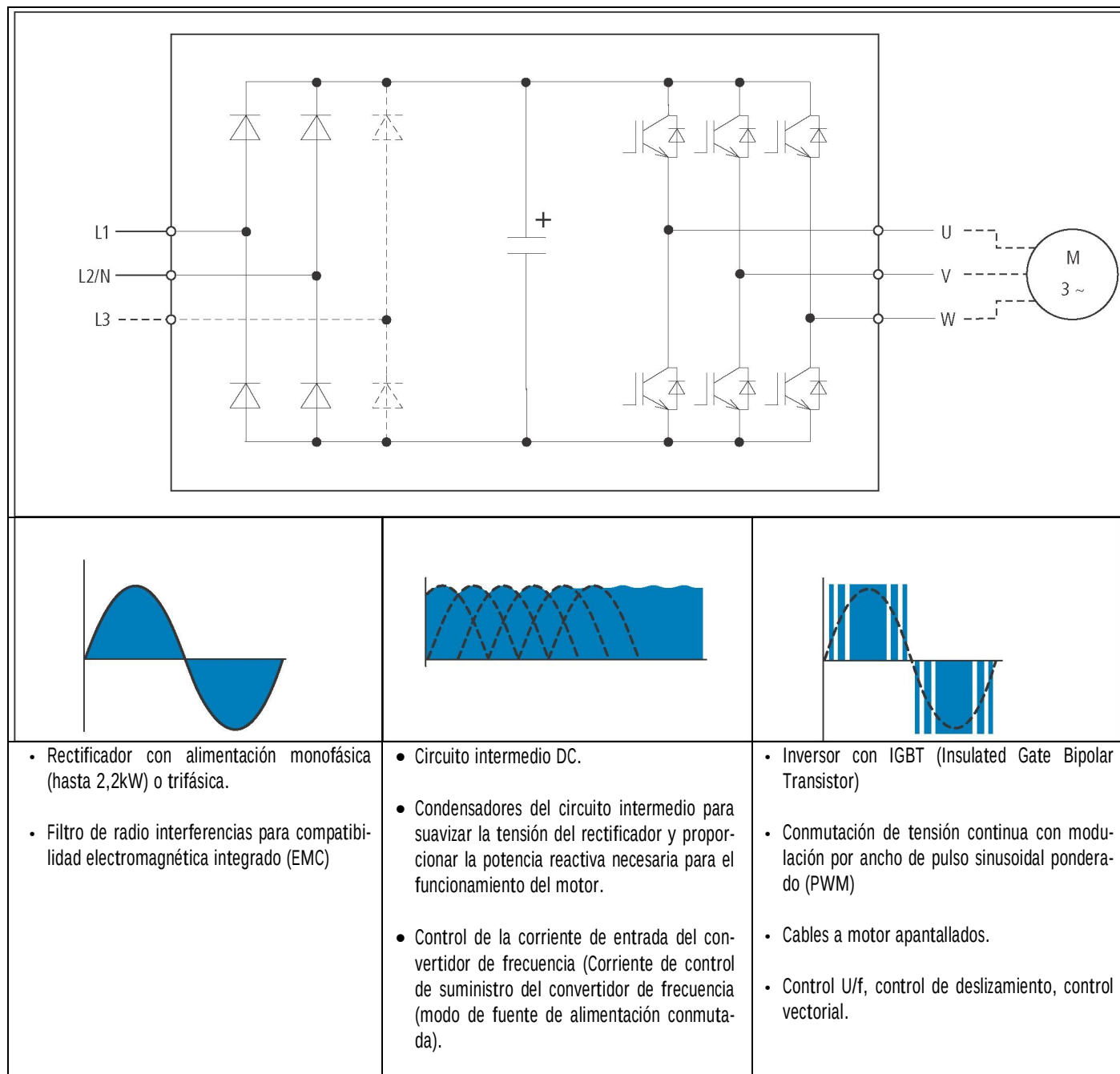


Figura 13: Alimentación del motor, Convertidor de frecuencia, con el M-Max como ejemplo.

Durante el funcionamiento del motor, los convertidores de frecuencia difieren completamente del método de operación del inversor que puede ajustarse por el usuario. Además del control estándar U/f con una curva característica lineal o cuadrática, el control de velocidad sensorless con compensación de deslizamiento y el control vectorial del par son métodos en uso conocidos hoy en día. Considerando que el control U/f permite el funcionamiento en paralelo de varios motores - incluso con diferentes rangos de la salida - en la salida del convertidor de frecuencia, el control de velocidad y vectorial se han diseñado

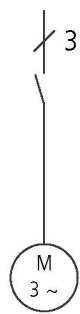
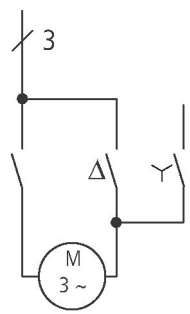
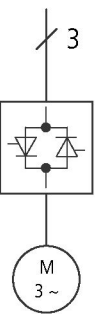
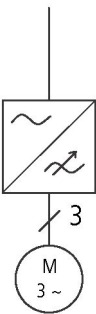
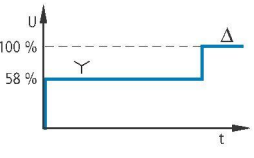
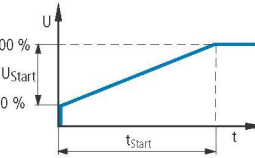
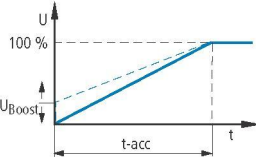
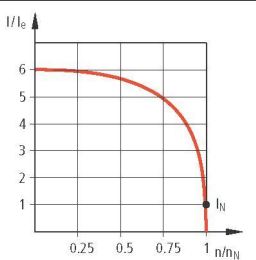
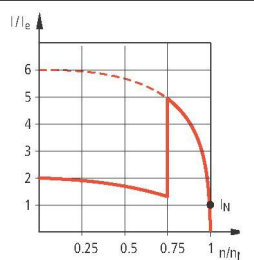
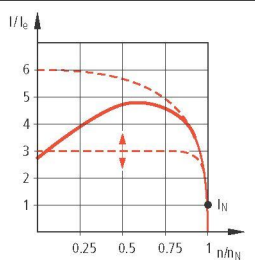
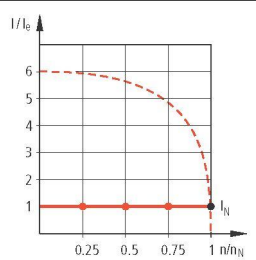
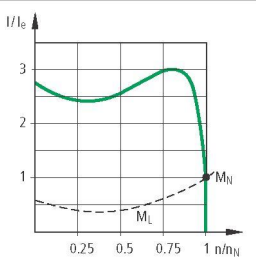
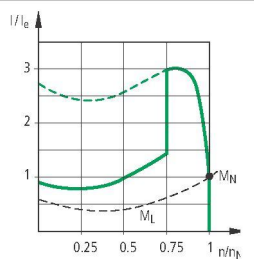
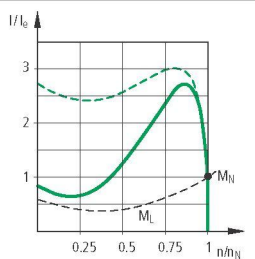
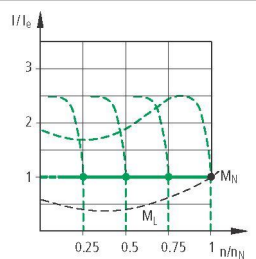
exclusivamente para funcionar con motores individuales. Por la presente, el convertidor de frecuencia se ajustará automáticamente a las características del motor (individual) asíncrono trifásico a través del llamado "auto-tuning".

La descripción detallada de este procedimiento específico de operación con convertidores de frecuencia, sin embargo, excede de la visión simplificada de los métodos más conocidos para el arranque y el control de motores trifásicos asíncronos.



Sumario

El uso y la aplicación determinan la selección del modo de arranque para un motor trifásico asíncrono. Comparamos los rasgos característicos de los modos de arranque aquí:

	Arranque directo	Estrella-triángulo	Arrancador suave	Convertidor de frecuencia
Diagrama				
Curva de tensión				
Carga en la red en el arranque	Alto	Medio	De bajo a medio	Bajo
Curva de intensidad				
Intensidad relativa en el arranque	4...8x I _e (Dependiendo del motor)	1,3...3x I _e (~ 1/3 comparado con un arranque directo)	2...6x I _e (Reducido por el control de la tensión)	≤1 (...2x) I _e (ajutable)
Curva de par				
Par relativo en el arranque	1,5...3x M _N (dependiendo del motor)	0,5...1x M _N (~ 1/3 comparado con un arranque directo)	0,1...1x M _N (M ~ U ² , El par es proporcional al cuadrado de la tensión)	~ 0,1...2x M _N (M ~ U/f, par ajustable)
Características	- Alta aceleración con alto consumo en el arranque - Alta carga mecánica	- Arranque con reducción de par y corriente - Pico de par y corriente en el cambio	- Características de arranque ajustables - Posibilidad de rampa de parada	- Alto par a baja corriente - Características de arranque ajustables
Áreas de aplicación	Unidades en suministros estables que permiten altas corrientes de arranque (pares)	Unidades que solo están sujetas a la carga después de la aceleración.	Unidades que requieren una progresión suave del par o una reducción de corriente	Unidades que requieren un arranque controlado y un ajuste de velocidad sin escalones

Eaton Corporation

Eaton es líder en gestión de energía en todo el mundo ofreciendo productos, sistemas y servicios a través de sus divisiones eléctrica, hidráulica, aeroespacial, transporte y automoción

División eléctrica

La división eléctrica de Eaton es líder global en distribución, control y calidad de energía y en productos y servicios de automatización industrial, satisfaciendo las necesidades energéticas de los sectores residencial e industrial, instalaciones públicas, empresas, comercios y fabricantes de maquinaria.

Esta división incluye las marcas Cutler-Hammer®, Moeller®, Micro Innovation®, Powerware®, Holec®, MEM®, y Santak®.

www.eaton.com

Eaton Industries (Spain), S.L.

**De l'acer 16 1ª planta
08038 Barcelona**

E-mail: marketingspain@eaton.com

**Internet: www.eatonelectric.es
www.powerquality.eaton.com/spain**

© 2011 Eaton Industries (Spain), S.L.

Sujeto a cambios sin previo aviso