

Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos

El control de los motores eléctricos mediante conjuntos de conmutación "Todo o Nada" es una solución bien adaptada para el accionamiento de una amplia gama de máquinas. No obstante, conlleva limitaciones que pueden resultar incómodas en ciertas aplicaciones:

- el pico de corriente en el arranque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red,
- las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas pueden ser inaceptables para la máquina así como para la seguridad y comodidad de los usuarios,
- funcionamiento a velocidad constante.

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos eliminan estos inconvenientes. Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa. Según la clase del motor, se emplean variadores de tipo rectificador controlado, convertidor de frecuencia o regulador de tensión.

Principales tipos de variadores

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía eléctrica que recibe el motor. Los tipos de variadores más habituales son:

Rectificador controlado

Suministra corriente continua a partir de una red alterna monofásica o trifásica y controla el valor medio de la tensión. La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia.

Este tipo de variador se utiliza para alimentar motores de corriente continua, generalmente de excitación separada.

Convertidor de frecuencia

Suministra tensión alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica de frecuencia fija, con valor eficaz y frecuencia variables según una ley U/f constante.

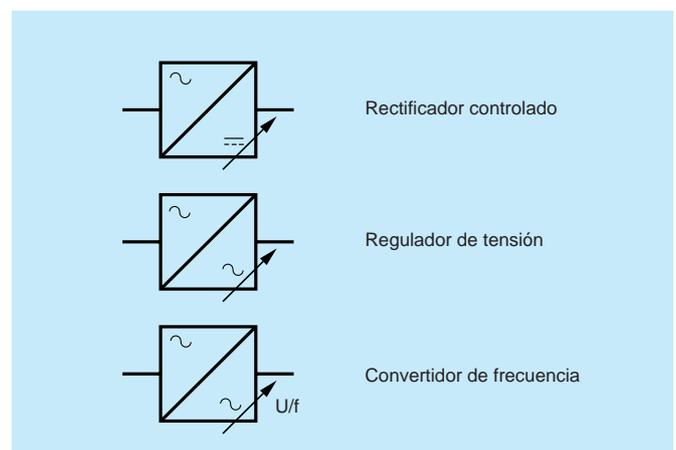
Se utiliza como variador de velocidad para motores asíncronos de jaula.

Regulador de tensión

Suministra corriente alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica, con la misma frecuencia fija que la red y controlando el valor eficaz de la tensión.

La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Generalmente, se utiliza como arrancador progresivo para motores asíncronos de jaula estándar, siempre que no requieran un par de arranque elevado.

Asimismo, puede utilizarse como variador de velocidad para motores asíncronos de resistencias rotóricas o de anillos.



Símbolos de los principales tipos de variadores

Principales funciones de los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos

Aceleración controlada

La aceleración del motor se controla por medio de una rampa de aceleración lineal o en forma de S. Generalmente, la rampa puede regularse y, por tanto, permite variar el tiempo de aceleración.

Variación de velocidad

Un variador de velocidad puede no ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, se trata de un sistema dotado de un control con amplificación de potencia pero sin bucle de retorno. Se denomina "sistema en lazo abierto".

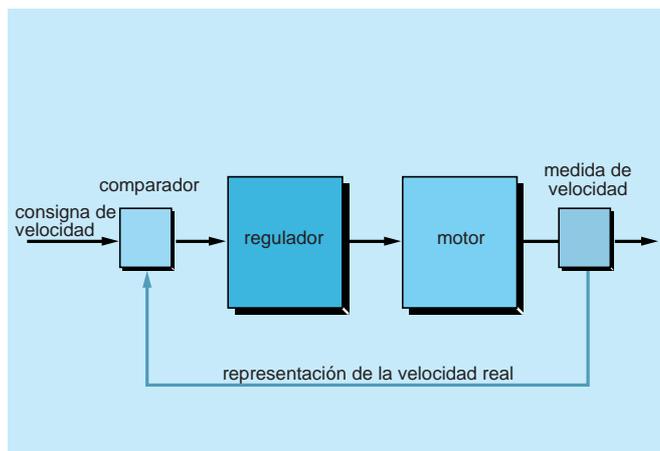
La velocidad del motor queda determinada por una magnitud de entrada (tensión o corriente) denominada consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, la velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga o de la temperatura). El rango de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad

Un regulador de velocidad es un variador con seguimiento de velocidad. Dispone de un sistema de control con amplificación de potencia y bucle de retorno. Se denomina "sistema en lazo cerrado".

La velocidad del motor queda determinada por una consigna, cuyo valor se compara permanentemente a una señal de retorno que representa la velocidad del motor. Generalmente, la señal procede de un generador tacométrico o de un generador de impulsos montado en el extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de la variación de la velocidad, el valor de la consigna se corrige automáticamente para ajustar la velocidad a su valor inicial. La regulación permite que la velocidad sea prácticamente insensible a las perturbaciones.

Generalmente, la precisión de un regulador se expresa en % del valor nominal de la magnitud regulada.



Principio de la regulación de velocidad

Deceleración controlada

Cuando se corta la alimentación de un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración por medio de una rampa lineal o en forma de S, que suele ser independiente de la rampa de aceleración. Es posible regular la rampa para que el tiempo de transición entre la velocidad en régimen estable y una velocidad intermedia o nula sea:

- inferior al tiempo de deceleración natural el motor debe desarrollar un par resistente que se añade al par resistente de la máquina,
- superior al tiempo de deceleración natural el motor debe desarrollar un par motor inferior al par resistente de la máquina.

Inversión del sentido de marcha

Puede controlarse a velocidad nula después de la deceleración sin frenado eléctrico, o con frenado eléctrico, para que la deceleración y la inversión sean rápidas.

Protección integrada

Generalmente, los variadores modernos garantizan tanto la protección térmica de los motores como la suya propia. Un microprocesador utiliza la medida de la corriente para calcular el aumento de la temperatura del motor. En caso de recalentamiento excesivo, genera una señal de alarma o de fallo.

Por otra parte, los variadores, especialmente los convertidores de frecuencia, suelen incluir protección contra:

- cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra,
- sobretensiones y caídas de tensión,
- desequilibrios de fases,
- funcionamiento monofásico.



Cadena de embotellado controlada con variadores de velocidad Altivar

Composición

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos constan de dos módulos, normalmente integrados en una misma envolvente:

- un módulo de control, que gestiona el funcionamiento del aparato,
- un módulo de potencia, que suministra energía eléctrica al motor.

El módulo de control

Todas las funciones de los variadores y arrancadores modernos se controlan por medio de un microprocesador que utiliza los ajustes, las órdenes transmitidas por un operador o por una unidad de tratamiento y los resultados de las medidas de velocidad, corriente, etc. En base a estos datos, el microprocesador gestiona el funcionamiento de los componentes de potencia, las rampas de aceleración y deceleración, el seguimiento de la velocidad, la limitación de corriente, la protección y la seguridad.

Según el tipo de producto, los ajustes (consignas de velocidad, rampas, limitación de corriente, etc.) se realizan por medio de potenciómetros, teclados, o desde autómatas o PC a través de un enlace serie.

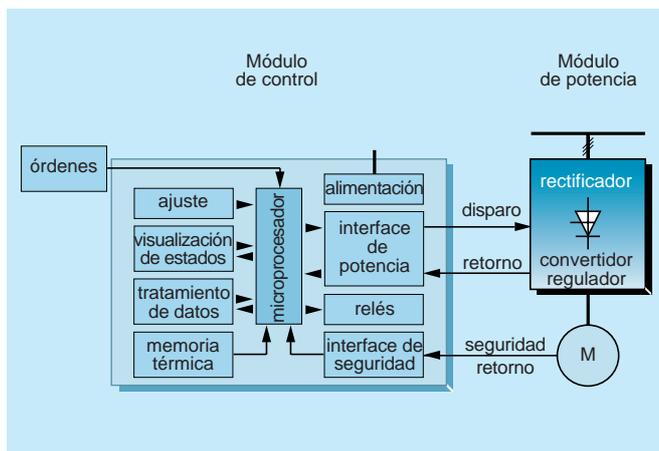
Las órdenes (marcha, parado, frenado, etc.) pueden darse a través de interfaces de diálogo hombre/máquina, autómatas programables, PC, etc.

Los parámetros de funcionamiento y los datos de alarmas y de fallos pueden visualizarse a través de pilotos, diodos luminosos, visualizadores de 7 segmentos o de cristal líquido, pantallas de vídeo, etc.

En muchos casos, es posible configurar los relés para obtener información de:

- fallos (de la red, térmicos, del producto, de secuencia, sobrecarga, etc.),
- control (umbral de velocidad, prealarma o final de arranque).

Una alimentación independiente suministra las tensiones necesarias para el conjunto de los circuitos de medida y de control.



Estructura general de un variador de velocidad

El módulo de potencia

Los elementos principales del módulo de potencia son:

- los componentes de potencia,
 - los interfaces de tensión y/o de corriente,
 - en aparatos de gran calibre, un conjunto de ventilación.
- Los componentes de potencia son semiconductores (ver el recuadro de la página siguiente) que funcionan en modo “Todo o Nada” y, por tanto, son similares a los interruptores estáticos de dos estados: pasante y bloqueado.

Estos componentes, integrados en un módulo de potencia, forman un convertidor que alimenta un motor eléctrico con tensión y/o frecuencia variables a partir de la red de tensión y frecuencia fijas.

Componentes de potencia

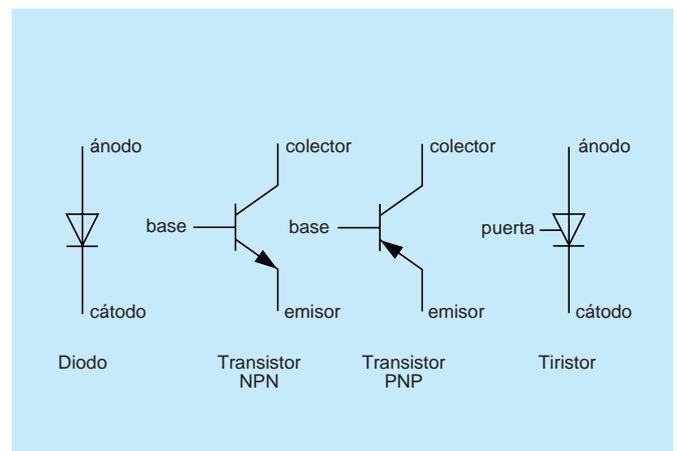
El diodo

El diodo es un semiconductor no controlado que consta de dos zonas, P (ánodo) y N (cátodo), y que sólo permite que la corriente fluya en un sentido, del ánodo al cátodo. El diodo es conductor cuando la tensión del ánodo es más positiva que la del cátodo, actuando como un interruptor cerrado. Cuando la tensión del ánodo es menos positiva que la del cátodo, el diodo bloquea la corriente y funciona como un interruptor abierto.

El transistor

Es un semiconductor controlado que consta de tres zonas alternas PNP o NPN. Sólo permite que la corriente fluya en un sentido: del emisor hacia el colector con tecnología PNP y del colector hacia el emisor con tecnología NPN.

Normalmente, actúa como un amplificador. En este caso, el valor de la corriente controlada depende de la corriente de control que circula en la base. No obstante, también puede funcionar en modo “Todo o Nada”, como interruptor estático: abierto en ausencia de corriente de base y cerrado en caso de saturación. Los circuitos de potencia de los variadores utilizan el segundo modo de funcionamiento.



Componentes de potencia

El tiristor

Es un semiconductor controlado que consta de cuatro capas alternas PNP. Funciona como un interruptor estático cuyo cierre se controla mediante el envío de un impulso eléctrico a un electrodo de control denominado puerta. El cierre (o disparo) sólo es posible si la tensión del ánodo es más positiva que la del cátodo.

El tiristor se bloquea cuando se anula la corriente que lo recorre, es decir, en cada paso por cero del período alterno. La energía de disparo suministrada a la puerta no guarda relación con la corriente que se conmuta, es una propiedad intrínseca del tiristor utilizado.

El IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

Es un tipo de transistor particular que se controla bajo tensión con muy poca energía, lo que explica la ausencia de relación entre la energía necesaria para el control y la corriente conmutada. Dada la alta velocidad de conmutación, el semiconductor debe soportar las presiones propias de una dV/dt considerable. Para minimizar dichas presiones, se utilizan inductancias y circuitos de ayuda a la conmutación compuestos por resistencias, condensadores y diodos.

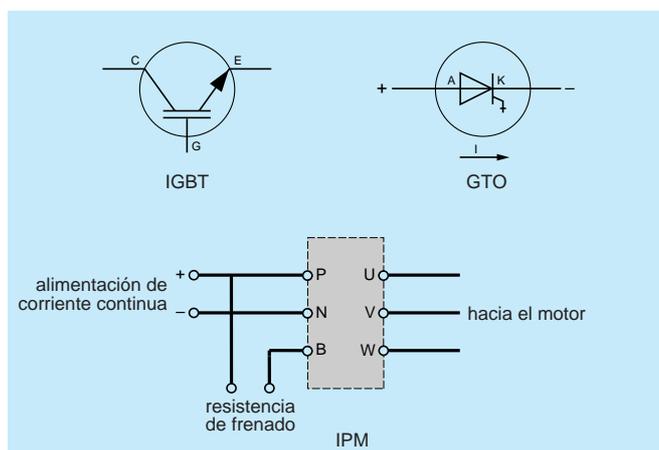
El GTO (Gate Turn off Thyristor)

Es un tipo de tiristor particular cuya extinción se controla por medio de un impulso negativo. La energía necesaria para ello depende de la corriente conmutada.

El IPM (Intelligent Power Module)

Es un puente ondulator con transistores de potencia IGBT que integra su propio control de vías. El IPM reúne en la misma caja:

- 7 componentes IGBT, 6 de ellos para el puente ondulator y 1 para el frenado,
- los circuitos de control de los IGBT,
- 7 diodos de potencia de rueda libre,
- protecciones contra cortocircuitos, sobreintensidades y excesos de temperatura.



Componentes de potencia

Principales modos de funcionamiento

Unidireccional

En electrónica de potencia, un dispositivo de conversión es unidireccional si sólo permite que la energía fluya en el sentido red-receptor.

Es posible aplicar un frenado de parada en corriente alterna mediante la conexión a la resistencia de un dispositivo de frenado distinto que disipe la energía almacenada en las piezas en movimiento.

Reversible

En electrónica de potencia, un dispositivo de conversión es reversible, o bidireccional, si permite que la energía fluya en ambos sentidos: red-receptor y receptor-red. En este caso, es posible realizar el frenado volviendo a enviar a la red de alimentación la totalidad o parte de la energía almacenada en las piezas en movimiento.

Par constante

El funcionamiento es de par constante cuando el motor suministra el par nominal con independencia de la velocidad.

Carga arrastrante

Una carga es arrastrante cuando produce una fuerza aceleradora que actúa en el sentido del movimiento. Por ejemplo, en los dispositivos de elevación, el motor debe desarrollar un par de frenado durante la bajada para compensar la fuerza aceleradora que produce la carga.

Los semiconductores como el silicio son materiales cuya resistividad se sitúa entre la de los conductores y la de los aislantes. Sus átomos poseen 4 electrones periféricos. Cada átomo se asocia con 4 átomos próximos para formar una estructura estable de 8 electrones. Un semiconductor de tipo P se obtiene mediante la incorporación al silicio puro de una pequeña proporción de un cuerpo cuyos átomos poseen 3 electrones periféricos. Por tanto, falta un electrón para formar una estructura de 8, lo que se traduce en un excedente de cargas positivas. Un semiconductor de tipo N se obtiene mediante la incorporación de un cuerpo de 5 electrones periféricos. En este caso, existe un excedente de electrones y, por tanto, de cargas negativas.

Convertidor de frecuencia para motor asíncrono

Para obtener un par constante a cualquier velocidad, es necesario mantener el flujo constante. Para ello, la tensión y la frecuencia deben evolucionar simultáneamente y en idéntica proporción.

El convertidor de frecuencia, que se alimenta en la red a tensión y frecuencia fijas, garantiza la alimentación del motor a corriente alterna con tensión y frecuencia variables, en base a las exigencias de velocidad.

El circuito de potencia consta de un rectificador y de un ondulator que, partiendo de la tensión rectificada, produce una tensión de amplitud y frecuencia variables. El ondulator utiliza seis transistores de potencia. El principio de la regulación es el mismo del variador-regulador de corriente continua.

El ondulator puede generar una frecuencia más elevada que la de la red y, por tanto, garantizar al motor un incremento de velocidad proporcional al incremento de frecuencia. No obstante, dado que la tensión de salida del convertidor no puede superar a la de la red, el par disponible decrece en proporción inversa al aumento de la velocidad. Por encima de su velocidad nominal, el motor deja de funcionar a par constante para hacerlo a potencia constante ($P = C\omega$).

Este tipo de variador, por ejemplo el Altivar, es adecuado para la alimentación de motores asíncronos de jaula.

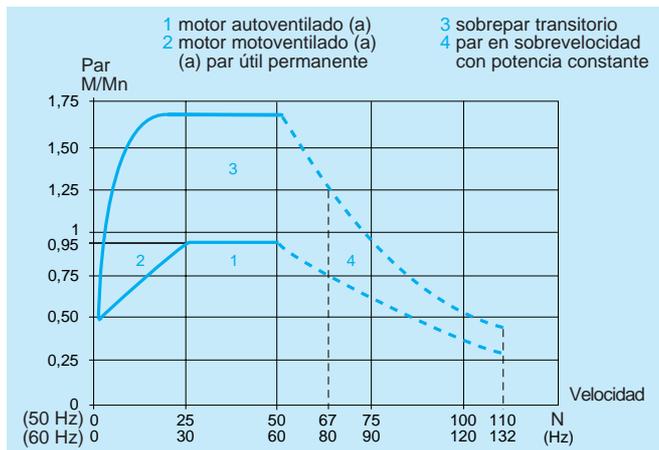
El Altivar permite crear una minired eléctrica de U y f variables, capaz de alimentar varios motores en paralelo. Consta de:

- un rectificador con condensador de filtrado,
- un ondulator con 6 transistores de potencia,
- una unidad de control organizada en torno a un microprocesador que garantiza el control del ondulator.

La ondulación se obtiene mediante el corte de la tensión continua por medio de impulsos cuya duración, y por tanto longitud, se modula para que la corriente alterna resultante sea lo más senoidal posible. Esta característica condiciona la rotación regular a baja velocidad y limita los calentamientos.

La inversión de la señal de control implica la inversión del orden de funcionamiento de los componentes del ondulator y, por tanto, del sentido de rotación del motor.

Dos rampas se encargan de regular la aceleración y la deceleración.



Características de par con el ATV 58

El variador se protege a sí mismo y protege al motor contra calentamientos excesivos, bloqueándose hasta recuperar una temperatura aceptable.

Regulación

En bucle abierto, la referencia de velocidad impone una frecuencia al ondulator, lo que determina la velocidad teórica del motor. No obstante, la velocidad real varía con la carga.

En bucle cerrado, la velocidad real se controla por medio de una dinamo tacométrica. La regulación garantiza una velocidad constante.

Frenado de parada

Se obtiene mediante la inyección de corriente continua en el motor.

Frenado ralentizado

Un módulo de frenado realiza una frenada controlada.

La energía de frenado se disipa en una resistencia conectada a las bornas del condensador de filtrado.

Control vectorial del flujo

Los variadores de velocidad para motores asíncronos trifásicos aumentan día a día las prestaciones de los motores asíncronos utilizados a velocidad variable.

Tradicionalmente, las aplicaciones que requerían prestaciones de accionamiento de alto nivel recurrían a soluciones basadas en motores de corriente continua. En la actualidad, las técnicas de Control Vectorial de Flujo (CVF) permiten utilizar igualmente motores asíncronos. Sin embargo, los motores de corriente continua se siguen utilizando en el caso de potencias muy elevadas, debido al alto coste de los variadores.

El CVF amplía el rango de funcionamiento de los motores asíncronos hacia velocidades muy bajas. Si el motor dispone de un captador de posición y, eventualmente, de una ventilación forzada, el par nominal puede suministrarse incluso en el momento de la parada, con un par transitorio máximo igual a 2 o 3 veces el par nominal, dependiendo del tipo de motor. Asimismo, la velocidad máxima suele alcanzar el doble de la velocidad nominal, o más si la mecánica del motor lo permite.



Variadores ATV 18 y ATV 58 de Telemecanique

Regulador de tensión para motor asíncrono

Un regulador de tensión alimenta, bajo tensión variable y frecuencia fija, distintos tipos de receptores: alumbrado, calefacción, motores, etc.

En lo referente al control de motores, el regulador de tensión se utiliza como arrancador-ralentizador progresivo en motores asíncronos de jaula de ardilla.

Arrancador-ralentizador progresivo

El regulador de tensión es un excelente arrancador para aquellos casos en los que no es necesario un par de arranque elevado (el par es proporcional al cuadrado de la tensión: $C = kU^2$). En caso de ser necesario, es posible aumentar este par mediante el uso de motores dotados de una jaula adicional para el arranque (motores de doble jaula).

El regulador Altistart lleva a cabo la aceleración y deceleración progresivas de los motores asíncronos de jaula sin sacudidas, picos de corriente ni caídas de tensión excesivas, incluso en el caso de fuertes inercias.

Su circuito de potencia incluye 2 tiristores montados en oposición por cada una de las fases. La variación de tensión se obtiene por medio de la variación del tiempo de conducción de los tiristores durante cada semiperíodo.

Cuanto mayor es el retraso del momento y de cebado, menor es el valor de la tensión resultante. Y todo esto siguiendo un algoritmo de control de par.

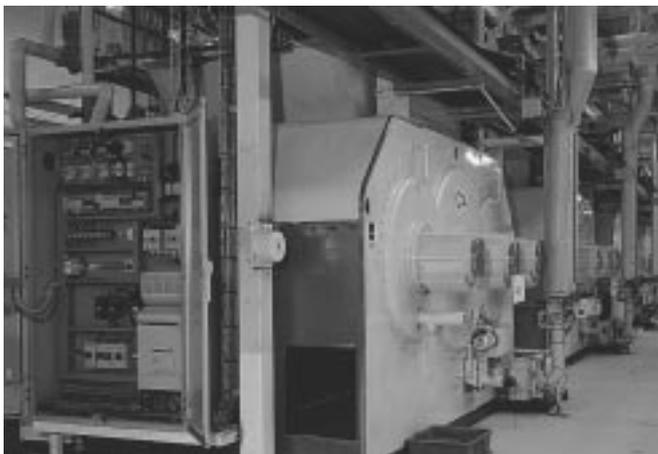
El cebado de los tiristores se gestiona por medio de un microprocesador que, además, lleva a cabo las siguientes funciones:

- control del par,
- control de las rampas de aceleración y deceleración regulables,
- limitación de la corriente regulable,
- sobrepasar de despegue,
- control de frenado por impulsos de corriente continua,
- protección del variador contra sobrecargas,
- protección del motor contra los calentamientos causados por las sobrecargas o arranques demasiado frecuentes,
- detección de desequilibrio o ausencia de las fases y de defectos de los tiristores.

Un panel de control permite visualizar distintos parámetros de funcionamiento y facilita la puesta en servicio, la explotación y el mantenimiento.

El Altistart permite controlar el arranque y el ralentizamiento de:

- un solo motor,
- varios motores, simultáneamente, dentro del límite de su calibre,
- varios motores sucesivamente, por conmutación. En régimen estable, cada motor se alimenta directamente desde la red a través de un contactor.



Elaboración de pasta de chocolate controlada con Altistart



Arrancador ralentizador progresivo Altistart de Telemecanique