

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA, CONTROLADORES DE MOTORES Y SSR

Manuel Álvarez Pulido



marcombo
BOIXAREU EDITORES

**CONVERTIDORES
DE FRECUENCIA,
CONTROLADORES
DE MOTORES Y SSR**

Amigo lector:

La obra que tienes en tus manos posee un gran valor. En ella, su autor, ha vertido conocimientos, experiencia y mucho trabajo. El editor ha procurado una presentación digna de su contenido y está poniendo todo su empeño y recursos para que sea ampliamente difundida, a través de su red de comercialización.

Puedes obtener fotocopias de las páginas del libro para tu uso personal. Pero desconfía y rehúsa cualquier ejemplar "pirata" o fotocopia ilegal del mismo porque, de lo contrario, contribuirías al lucro de quienes, consciente o inconscientemente, se aprovechan ilegítimamente del esfuerzo del autor y del editor.

La reprografía indiscriminada y la piratería editorial, no solamente son prácticas ilegales, sino que atacan contra la creatividad y contra la difusión de la cultura.

**PROMUEVE LA CREATIVIDAD
RESPETA EL DERECHO DE AUTOR**

Manuel Álvarez Pulido

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA, CONTROLADORES DE MOTORES Y SSR



marcombo
BOIXAREU EDITORES

This One



JAHN-HC4-RX97

ial

© Manuel Álvarez Pulido, 2000
Reservados todos los derechos de
publicación, reproducción, préstamo,
alquiler o cualquier otra forma de
cesión del uso de este ejemplar
en cualquier idioma por
MARCOMBO, S.A.
Gran Vía de les Corts Catalanes, 594
08007 Barcelona (España)

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización de los propietarios del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, así como la exportación e importación de esos ejemplares para su distribución en venta, fuera del ámbito de la Unión Europea.

ISBN: 84-267-1268-1

Depósito Legal: B-29.857-2000

Impreso en España

Printed in Spain

Filmación: Gràfic-5, S.L. – Santiago Rusiñol, 23 – 08031 Barcelona

Impresión: Gràfiques 92, S.A. – Avda. Can Sucarrats, 91 – 08019 Rubí

*A don Ramón Ugarte Zubizarreta,
maestro entre los maestros*

Índice

Introducción.....	XIII
1. Variadores de velocidad de motores de corriente alterna	1
Definición y utilización de un convertidor de frecuencia.....	1
Convertidores de frecuencia rotativos.....	2
Regulación de la velocidad de un motor con rotor bobinado	4
Convertidores de frecuencia rotativos con frecuencia de salida fija	5
Funcionamiento.....	8
Ventajas de los convertidores de frecuencia electrónicos.....	8
Principio de funcionamiento de los convertidores de frecuencia	9
2. Conceptos generales de máquinas eléctricas	15
Consideraciones previas	15
Par motor.....	15
Par máximo de un motor.....	16
Par de arranque de un motor.....	17
Par nominal de un motor.....	17
Trabajo mecánico	17
Potencia.....	17
Potencia de un motor.....	18
Relación entre la potencia y el par motor.....	19
Par de aceleración	21
Rendimiento de un motor.....	21
Recorrido de la potencia en un motor de inducción.....	23
Reductores mecánicos.....	24
Velocidad de salida en el eje del reductor	24
Par desarrollado en el motor.....	24
Par desarrollado en el eje del reductor.....	25
Motor de inducción asíncrono trifásico.....	26
Deslizamiento absoluto.....	27

Deslizamiento relativo	28
Marcha de un motor de inducción asíncrono	29
Periodo de arranque.....	29
Periodo de aceleración.....	29
Par motor de un motor con convertidor.....	29
3. Principales parámetros configurables.....	31
Consola de programación	31
Teclas más utilizadas.....	31
Parámetros ajustables.....	34
Frecuencia mínima.....	34
Frecuencia máxima.....	36
Parada de un convertidor.....	37
Tiempo de frenado	37
Marcha libre.....	37
Desaceleración de frecuencia.....	38
Inyección de c.c.....	38
Motor con parada libre y temporizador.....	39
Resistencia de frenado.....	39
Funcionamiento del divisor de tensión.....	41
Tiempo de inyección de c.c. al arranque.....	42
Tiempo de aceleración.....	43
Contraseña de entrada en parámetros.....	44
Visualizador.....	44
Ahorro energético.....	44
Intensidad máxima.....	45
Intensidad permanente.....	46
Refuerzo del par de arranque.....	46
Refuerzo dependiente de la carga.....	47
Refuerzo fijo o estático.....	47
Compensación del deslizamiento.....	47
Resonancia.....	47
Punto de inflexión de la frecuencia.....	48
Curvas tensión/frecuencia.....	48
Curva S_f características de aceleración y desaceleración.....	51
Variación de la frecuencia y de la tensión simultáneamente.....	51
Compensación automática del par.....	51
Control vectorial.....	52
Control PID.....	53
4. Entradas.....	61
Conexiones de potencia de entrada.....	61
Conexiones de mando en un convertidor analógico.....	61

<u>Marcha con mantenimiento</u>	62
<u>Conexiones de protección</u>	64
<u>Protección del motor</u>	64
<u>Sonda térmica</u>	65
<u>Funciones de protección</u>	65
<u>Tensión baja</u>	66
<u>Sobretensión</u>	66
<u>Sobrecarga</u>	66
<u>Valores de referencia</u>	66
<u>Potenciómetro</u>	66
<u>Preselección de frecuencia</u>	67
<u>Preselección de par</u>	67
<u>Fuente de tensión externa</u>	68
<u>Maneras de controlar un convertidor digital</u>	68
<u>Secuencia a tres hilos</u>	69
<u>Entradas multifunción</u>	71
<u>Entrada UP/DOWN</u>	74
<u>Entrada/salida con función temporizador</u>	76
<u>Función autotuning</u>	76
5. Salidas	77
<u>Conexiones de potencia de salida</u>	77
<u>Conexiones de mando de salida</u>	77
<u>Salidas en los convertidores de frecuencia analógicos</u>	78
<u>Relé de salida</u>	78
<u>Salida excitadora</u>	79
<u>Salida multifunción a transistor</u>	80
<u>Salida analógica</u>	80
<u>Desplazamiento de la señal analógica</u>	82
<u>Desviación de la referencia de entrada</u>	82
<u>Valor actual de frecuencia</u>	86
<u>Valor actual de carga</u>	86
6. Elegir un convertidor	87
<u>Medida del aislamiento del motor</u>	88
<u>Precauciones al instalar un convertidor de frecuencia</u>	89
<u>Interferencias</u>	89
<u>Compatibilidad electromagnética</u>	92
<u>Reactancia de corriente continua</u>	92
<u>Ferritas de salida</u>	92
<u>Motores con convertidor de frecuencia incorporado</u>	94

7. Controladores de motores	97
Arrancadores suaves.....	97
Ventajas con respecto a otros sistemas de arranque.....	98
Inconvenientes de los arrancadores estáticos.....	99
Funcionamiento.....	99
Ajustes.....	100
Rampa de arranque (ramp up).....	101
Rampa de parada (ramp down).....	101
Regulación del par (start torque).....	102
Indicadores en los arrancadores suaves.....	104
Esquemas de conexión.....	104
Arranque de motor controlado por la tensión de red.....	104
Arranque suave por conexión de la tensión de control.....	104
Arranque suave y parada suave de motor.....	106
Arranque suave con función de marcha y parada (función bies- table).....	106
Arrancador suave con mando a corriente alterna.....	106
8. Triac	109
Funcionamiento.....	110
Control del ángulo de fase.....	111
Diac.....	112
Regulación de una carga con triac.....	112
Regulación de velocidad de un motor universal.....	113
Arranque y variación de velocidad de un motor de c.c. con excita- ción independiente.....	114
Interruptor de corriente alterna con triac.....	115
Interruptor de corriente alterna controlado por corriente continua con triac.....	116
9. Relés estáticos	117
Definición.....	117
Utilización.....	117
Circuitos.....	117
Ventajas.....	118
Aplicaciones.....	119
Tipos de relés estáticos.....	119
10. Relés estáticos monofásicos	121
Circuito de salida.....	121
Transistor.....	121
Triac.....	121
Tiristores en antiparalelo.....	122

Puente de diodos con tiristor.....	123
Alternistor.....	123
Tensiones normalizadas en el circuito de control	123
Tensiones normalizadas en el circuito de potencia.....	124
Tipos de conmutación	124
Conmutación instantánea.....	124
Conmutación a paso por cero.....	125
Conmutación a pico de tensión.....	125
Conmutación en tensión continua.....	126
Conmutación con control analógico de entrada	127
Conexión de los relés estáticos	128
Precauciones al utilizar un relé estático.....	129
Comprobación del estado de un SSR analógico	129
11. Contactores estáticos de potencia.....	131
Contactor estático.....	132
Contactor estático monofásico.....	132
Aplicaciones específicas de los relés estáticos.....	134
12. Relés estáticos trifásicos	137
Constitución	137
Tensiones más usuales en el circuito de control	140
Tensiones utilizadas en el circuito de potencia	140
Protecciones	140
Protección del motor	140
<u>Protección del relé estático.....</u>	<u>141</u>
Elección de un relé estático en función de la aplicación.....	142
Refrigeradores de calor	142

Introducción

Desde que los motores eléctricos se empezaron a utilizar en la industria, no se ha parado de innovar y estudiar nuevas técnicas de maniobra, control y protección de dichos motores.

Para la maniobra se utilizaron interruptores manuales, posteriormente se han utilizado contactores que ya cuentan con varias generaciones.

Uno de los objetivos que pretendía el control del motor eléctrico era desplazar el motor de corriente continua, que durante años se ha utilizado por su relativa facilidad para variar la velocidad, aunque tenían muchos inconvenientes, como son las chispas en las escobillas que dañan el colector, y utilizar el clásico motor de corriente alterna por sus innumerables ventajas. La dificultad de emplear éstos era el gran problema técnico que surgía al tener que modificar la frecuencia para variar la velocidad. Con la aparición de nuevos componentes electrónicos esta dificultad queda subsanada y el empleo de convertidores de frecuencia está, afortunadamente, tan generalizado que ha dejado de ser novedad encontrar en ferias profesionales y en revistas técnicas a fabricantes de estos dispositivos de variación de velocidad electrónicos, llegando a tal grado de sofisticación que han desplazado a los motores de corriente continua existentes en la industria, sumando a las características técnicas el bajo costo que han llegado a alcanzar y que los hacen asequibles a cualquier empresa por pequeña y modesta que ésta sea. Por ello, la industria demanda unos técnicos con una formación cada vez más especializada y no tan general como hasta hoy se ha venido desarrollando.

Mención especial se tiene que hacer de los controladores de motores, llamados también arrancadores estáticos o arrancadores suaves.

Estos controladores permiten arrancar y parar el motor de una manera progresiva; en los últimos años han ido desplazando a los clásicos arrancadores, que utilizan contactores, debido a las múltiples ventajas que presentan frente a éstos.

Se dedica un capítulo a los relés de estado sólido (SSR) porque desde que aparecieron las primeras publicaciones de semiconductores de potencia

hasta ahora han transcurrido algunos años y éstos han evolucionado de una manera extraordinaria, hasta el punto que han conseguido ser más económicos y tener nuevas aplicaciones.

Entre las nuevas aplicaciones de los semiconductores de potencia están los relés de estáticos, tanto monofásicos como trifásicos, que están desplazando con innumerables ventajas a los clásicos relés electromagnéticos y a los contactores, especialmente en las aplicaciones donde el uso de estos elementos no puede llegar.

No quiero pasar por alto agradecer a las empresas:

Carlo Gavazzi

Omron Electronics

Prefilter

Seradhe

Control Techniques

AEG, Fábrica de Motores

haber permitido difundir datos técnicos y fotografías de sus catálogos; y por su valiosa colaboración en la resolución de las muchas dudas que tenía al respecto.

1. Variadores de velocidad de motores de corriente alterna

De la fórmula:

$$N = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ r.p.m.}$$

donde: N = velocidad de giro del motor

f = frecuencia

p = número de pares de polos

r.p.m. = revoluciones por minuto

se deduce que variar la velocidad (revoluciones de un motor) se puede realizar de dos maneras distintas:

- Modificando el número de polos del motor.
- Modificando la frecuencia.

Modificar el número de polos del motor es un procedimiento engorroso y limitado; esto es, el motor adquiere revoluciones concretas y no de manera continua como sería de desear, en función de su número de polos; además estas revoluciones predeterminadas no suelen ser más de tres revoluciones distintas ya que, de otro modo, el motor sería excesivamente grande en relación a su potencia. Son los llamados motores de dos y tres velocidades.

Modificar la frecuencia, por el procedimiento que sea, es lo ideal, y el más adecuado y económico es el electrónico.

DEFINICIÓN Y UTILIZACIÓN DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

Un convertidor de frecuencia es un aparato destinado a modificar la frecuencia y, por tanto, la velocidad, de un motor de inducción asíncrono; es



Figura. 1. Convertidores de frecuencia electrónicos. (Cortesía Omron Electronics.)

decir, que genera una corriente alterna con la frecuencia y la tensión necesarias para accionar dicho motor de corriente alterna (fig. 1).

El convertidor de frecuencia permite modificar el valor de la frecuencia para hacer que el motor gire a más o menos velocidad, independientemente de la frecuencia de que disponga la red de alimentación.

Actualmente esto se consigue con procedimientos electrónicos, pero no se puede omitir ni olvidar los procedimientos que se utilizaban anteriormente a la aparición de los convertidores de frecuencia electrónicos, incluso servirán como base para comprender mejor éstos.

Entre estos sistemas, llamados hasta ahora *tradicionales*, de regulación están los **convertidores de frecuencia rotativos**.

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA ROTATIVOS

El sistema tradicional empleado para modificar la velocidad de un motor en la industria siempre ha sido el motor de corriente continua, existiendo excepciones cuando dicho motor no podía emplearse por alguna razón, utilizándose entonces el motor de corriente alterna, el clásico motor de inducción de rotor en cortocircuito o jaula de ardilla.

En la figura 2, se muestra un esquema de la variación de un motor de corriente alterna por el sistema rotativo.

En la industria moderna, el procedimiento descrito no se utiliza por ser antieconómico y engorroso de manipular.

El motor de corriente continua de excitación en derivación se conecta a una red de corriente continua; para limitarle la intensidad de arranque se

Se cierra el interruptor de puesta en marcha (Q2) y el motor asíncrono girará a la velocidad nominal, es decir, suponiendo un motor de cuatro polos girará a 1.500 r.p.m.

Al accionar el reóstato R3 se modifica la frecuencia al bajar de revoluciones el motor de corriente continua, pero también al girar el alternador a menos revoluciones genera menos tensión por lo que, para que permanezca constante ésta, se deberá suministrar más excitación al alternador para suplir esa bajada de revoluciones; para ello solamente se tiene que accionar el regulador R2.

Las características principales de este sistema son:

- Par pequeño a reducida velocidad.
- El rendimiento máximo se consigue cuando el motor gira a su velocidad nominal.
- El motor sólo funciona correctamente en vacío.

REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR CON ROTOR BOBINADO

A un motor con rotor bobinado se le puede regular la velocidad con resistencias rotóricas, esto es, con resistencias conectadas en el inducido cuyos devanados están conectados generalmente en estrella en el interior, por lo que sólo salen al exterior tres conductores señalizados con K-L-M.

Las características de estos motores son las siguientes:

- Se construyen siguiendo las reglas de los bobinados de alternadores, generalmente bobinados fraccionarios.
- El número de polos del rotor debe ser igual al del estator.
- El número de ranuras del rotor tiene que ser diferente al del estator, para evitar puntos muertos en el arranque.

Este tipo de motor es reversible; quiere decir que, si se aplica tensión en sus bornes, proporciona energía mecánica en su eje.

Aplicando energía mecánica a su eje y tensión a los bornes del estator, proporciona en los bornes del rotor tensión de características distintas a la aplicada en el estator.

La velocidad de giro dependerá del valor óhmico de la resistencia intercalada en el rotor.

Existen muchos procedimientos para arrancar estos motores; aunque en este libro solamente interesa la variación de la velocidad, a título informativo se incluye el esquema de fuerza del arranque automático en varias etapas (fig. 3).

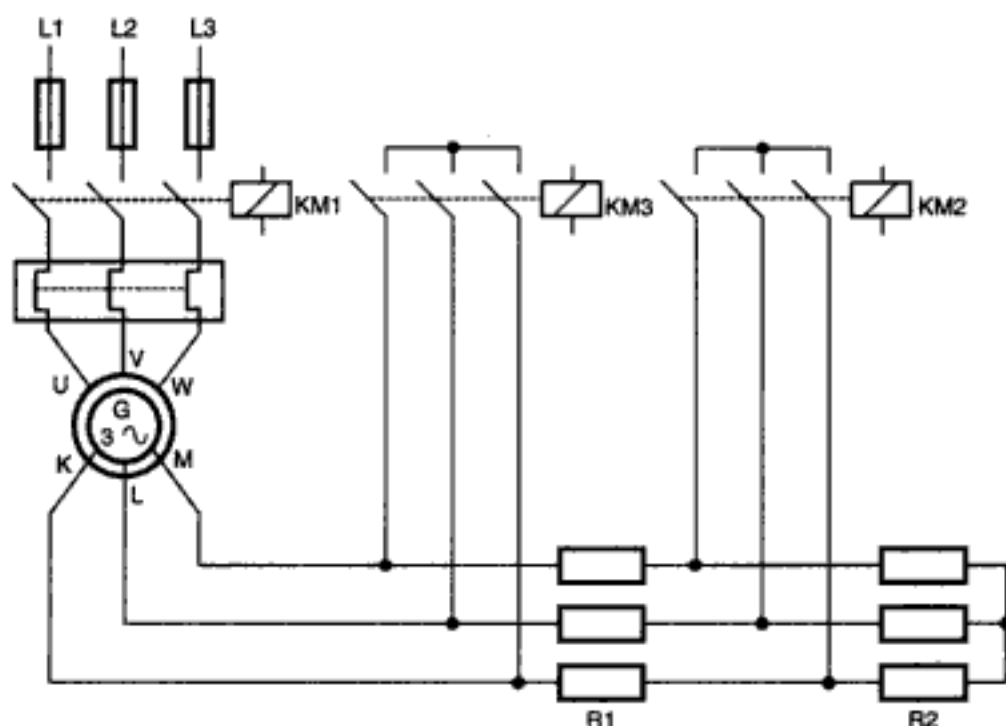


Figura 3. Arranque automático en varias etapas de un motor de rotor bobinado.

Se tiene que hacer notar que estos sistemas llevan consigo la utilización de grandes resistencias que disipan la cantidad de electricidad generada en el inducido.

El empleo de la electrónica, elementos estáticos, soluciona ampliamente este problema; al conectar a corriente el devanado estator, se genera una corriente trifásica en el rotor que rectificadora por un rectificador hexafásico y filtrada por una inductancia se disipa en la resistencia de potencia.

Esta corriente continua puede ser controlada por medio de un tiristor, de tal manera que, cuando no conduce, la corriente continua pasa a través de la resistencia de potencia, haciendo que el motor gire a poca velocidad; hacer que circule más o menos corriente por el tiristor hará que el motor gire más rápido o más lento (fig. 4).

Otro sistema más económico y similar al anterior, pero utilizando una resistencia variable de poca potencia que disipa la corriente generada por el devanado del rotor, es el esquema representado en la figura 5.

CONVERTIDORES DE FRECUENCIA ROTATIVOS CON FRECUENCIA DE SALIDA FIJA

En ocasiones, sobre todo en las industrias de la construcción, la madera y el corcho, se precisan motores que giren a muchas revoluciones para solucionar aplicaciones específicas de estos sectores.

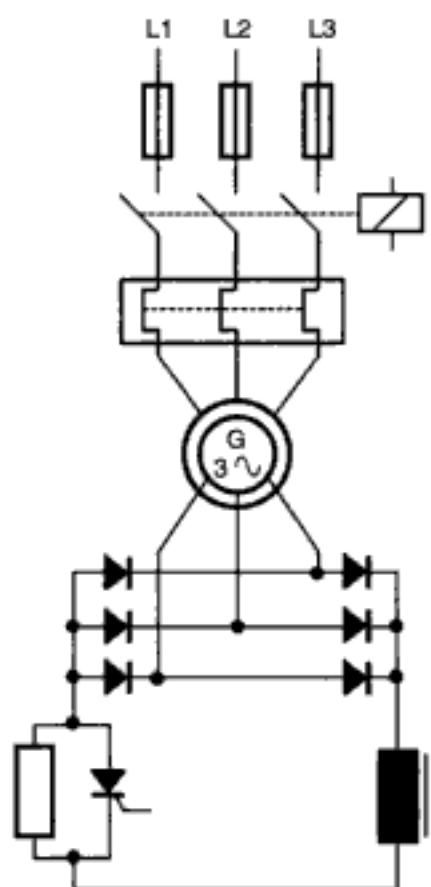


Figura 4. Esquema de la regulación de velocidad de un motor de rotor bobinado mediante rectificador y tiristor.

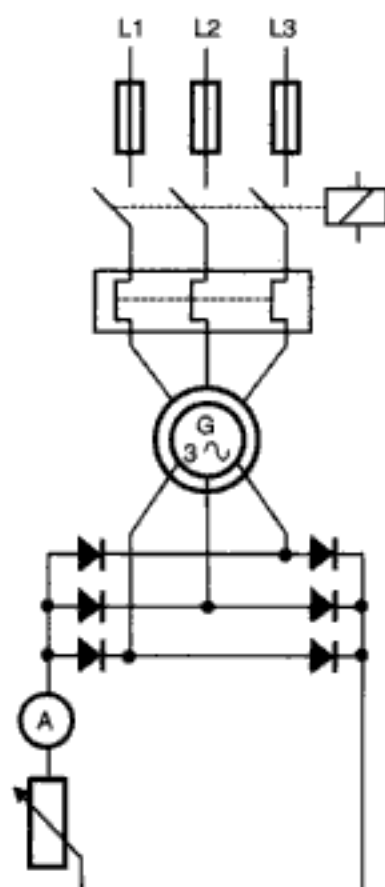


Figura 5. Esquema de la regulación de velocidad de un motor de rotor bobinado mediante rectificador y resistencia.

La velocidad máxima a la que pueden girar los motores asíncronos trifásicos, a frecuencia industrial, que son los que generalmente dominan la industria, es de 3.000 r.p.m. Se ha de recordar que:

$$N = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ r.p.m.}$$

donde: N = velocidad de giro del motor
 f = frecuencia industrial
 p = pares de polos
 r.p.m. = revoluciones por minuto

Como quiera que la cantidad mínima de pares de polos que puede tener una máquina es uno, es decir, dos polos, se tiene:

$$N = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3.000 \text{ r.p.m.}$$

Debe recordarse que la frecuencia industrial en España es de 50 Hz.

Para solucionar este problema nace el convertidor de frecuencia rotativo con frecuencia de salida fija, que se compone esencialmente de dos máquinas eléctricas acopladas por sus ejes, en la mayoría de los casos formando una sola máquina (fig. 6).

La máquina asíncrona que hace de motriz es un motor de inducción asíncrono trifásico de rotor en jaula de ardilla.

La máquina arrastrada que hace de generador es un motor de inducción de rotor bobinado.

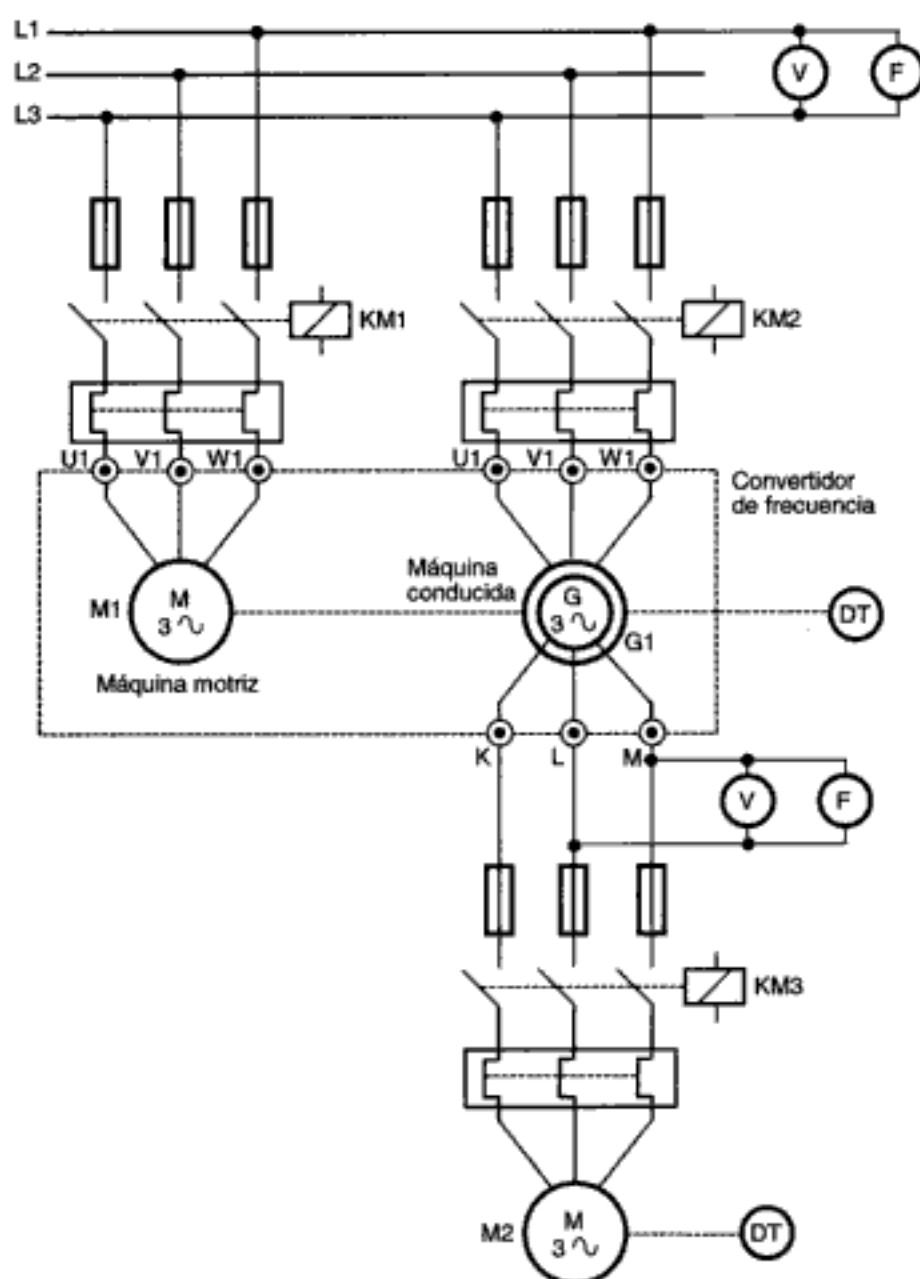


Figura 6. Esquema de convertidor de frecuencia rotativo con salida de frecuencia fija.

Se debe tener en cuenta que la frecuencia de la tensión inducida en el devanado de un generador es proporcional a la velocidad relativa de los conductores con el campo magnético.

Funcionamiento

Conéctese un motor asíncrono de rotor en cortocircuito a una red trifásica de frecuencia industrial (50 Hz), a una tensión de 220 o 380 V, dependiendo de la que se disponga.

Al mismo tiempo se conecta el motor asíncrono de rotor bobinado, que trabaja en este sistema como generador, a la misma red trifásica.

El motor comenzará a girar a sus revoluciones nominales (1.495 r.p.m.), suponiendo un motor de 4 polos, arrastrando el motor de anillos rozantes que hace de generador.

En los anillos rozantes del generador aparecerá una tensión determinada, por ejemplo 220 V, a una frecuencia superior a 50 Hz, por ejemplo 200 Hz.

Conectando a la salida del generador un motor asíncrono de 4 polos, 220/380 V, éste girará a:

$$N = \frac{60 \cdot 200}{2} = 6.000 \text{ r.p.m.}$$

Obsérvese que la velocidad del motor depende de la nueva frecuencia a la que está conectado, pues el número de polos del generador no varía y depende de cómo esté realizado el devanado.

Para conocer la frecuencia obtenida en un convertidor rotativo de frecuencia fija, se utilizará la fórmula:

$$F_G = F_M \left(1 + \frac{P_G}{P_M} \right)$$

- donde F_G = frecuencia obtenida en el generador.
 F_M = frecuencia a la que se conecta el motor.
 P_G = pares de polos del generador.
 P_M = pares de polos del motor.

VENTAJAS DE LOS CONVERTIDORES DE FRECUENCIA ELECTRÓNICOS

- Ahorro energético; consume sólo lo que necesita en cada momento.
- Se puede instalar en máquinas que estén funcionando sin él y no se tienen que modificar sus partes.

- Puede ser controlado a distancia y con cualquier sistema automático.
- Se pueden conectar varios motores en paralelo.
- No precisan mantenimiento alguno.
- Los motores que se pueden utilizar son los estándar.
- No precisa contactor para su maniobra y si se quiere invertir el sentido de giro tampoco precisa un inversor exterior.
- No precisa relé térmico, ya que protege el motor por control de la intensidad, sobrecarga y sobreintensidad instantánea.
- Se puede conseguir una velocidad constante cualquiera que sea la carga.
- Se puede programar el tiempo de arranque y de parada, freno.
- Se pueden programar varias velocidades distintas con rampas de arranque y de parada.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

La red suministra corriente alterna a 50 Hz, frecuencia industrial. En una primera etapa, pasa a un rectificador donde se convierte en corriente continua. Estos rectificadores pueden ser controlados o no por tiristores, pasando posteriormente a un filtro, de tal manera que la salida sea lineal; no obstante, antes del filtrado, se dispone de una resistencia R1 en paralelo con un contacto K1.

Al conectar el equipo a tensión, como quiera que los condensadores del filtro están descargados, comienzan a cargarse. En ese instante la intensidad es muy elevada; por ello, circulará por la resistencia R1.

Al disminuir la corriente de carga, por estar cargados los condensadores, el relé K1 se activa y cierra el contacto que está en paralelo con la resistencia R1. A partir de ese momento, circulará la corriente del equipo por este contacto.

El relé K1 permanecerá activado en tanto esté con tensión el convertidor. Esta tensión continua, rectificada y filtrada, pasa a la etapa de conmutación desde donde se convierte en corriente alterna, pero esta vez controlada por el circuito de disparo de los transistores PWM o de los tiristores, es decir, no a la frecuencia de 50 Hz sino a la que previamente se determine dentro del margen entre 0 y 440 Hz; esto es, conectando un motor de 4 polos, 1.500 r.p.m., a un variador hipotético, podría girar desde 0 hasta 10.800 r.p.m. teóricamente. Quiere decir esto que eléctricamente los devanados del motor soportarían esa frecuencia tan alta; otra cosa es que mecánicamente las piezas del motor pudieran soportarla. La figura 7 muestra el diagrama de bloques de este sistema.

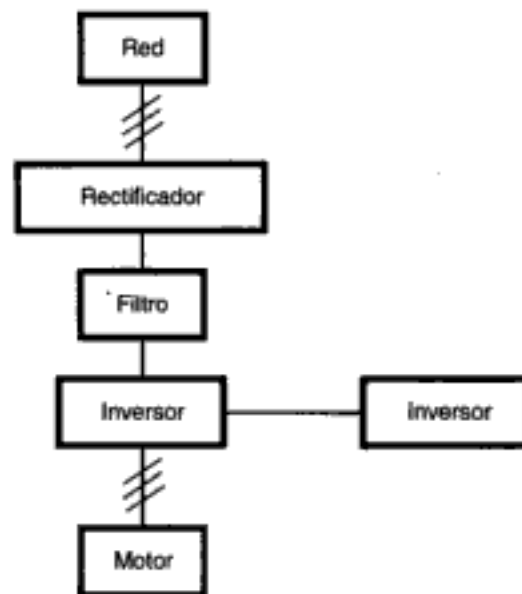


Figura 7. Diagrama de bloques del funcionamiento de un convertidor de frecuencia.

El sistema de control realiza varias funciones, bien definidas, como son:

- Variación de la frecuencia.
- Regulación de la tensión o de la corriente.
- Conmutación de la corriente en los devanados del motor.
- Protección del convertidor, de tal manera que limita la intensidad a un valor permitido por los semiconductores del convertidor.
- Protección de los devanados del motor al limitarle la intensidad que circule en función de la admisible por el motor.

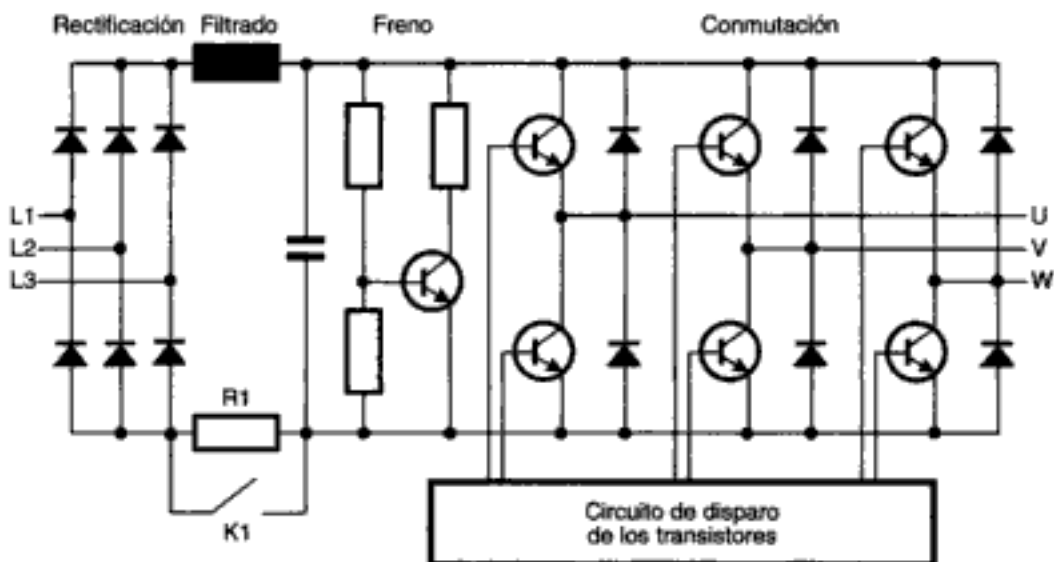


Figura 8. Esquema de principio de un convertidor de frecuencia controlado por transistores PWM.

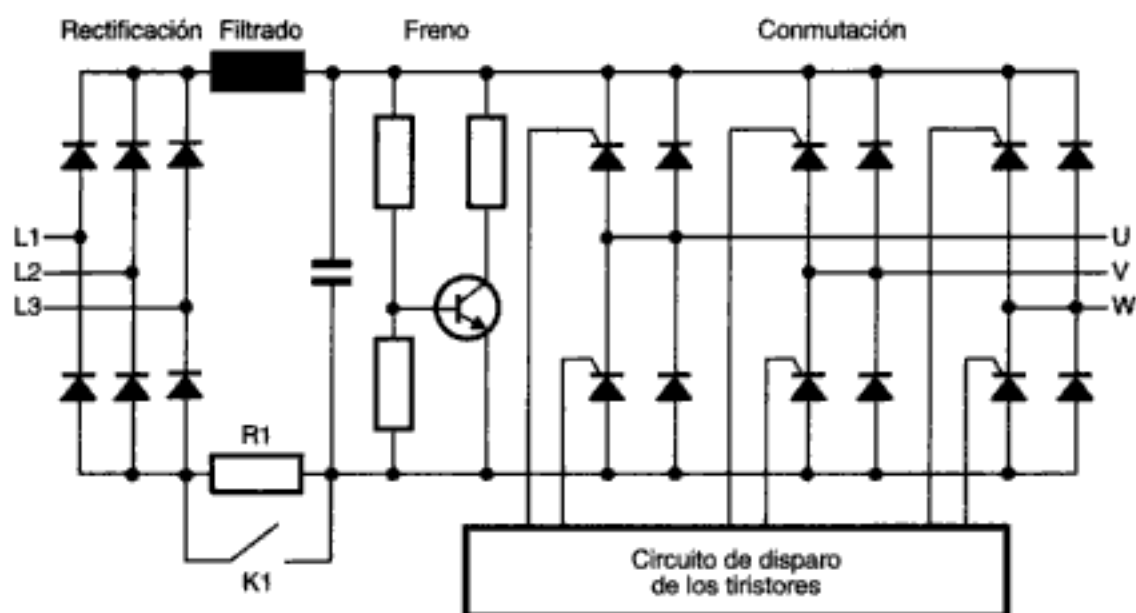


Figura 9. Esquema de principio de un convertidor de frecuencia controlado por tiristores.

En las figuras 8 y 9 se muestran los esquemas de principio de un convertidor de frecuencia controlado por transistores PWM y por tiristores.

La secuencia de disparo de los tiristores o –en el caso de convertidores de pequeña potencia– de los transistores PWM (figuras 10 a 15) es la siguiente:

- Conducen los tiristores 1 y 6, y en el motor circula corriente por los devanados pertenecientes a las fases S y R.
- En esta secuencia conducen los tiristores 1 y 2 y en el motor circula corriente por los devanados T y R.
- Conducen los tiristores 3 y 2 y circula corriente por los devanados T y S.
- Ahora son los tiristores 3 y 4 los que conducen y circula corriente por los devanados R y S.

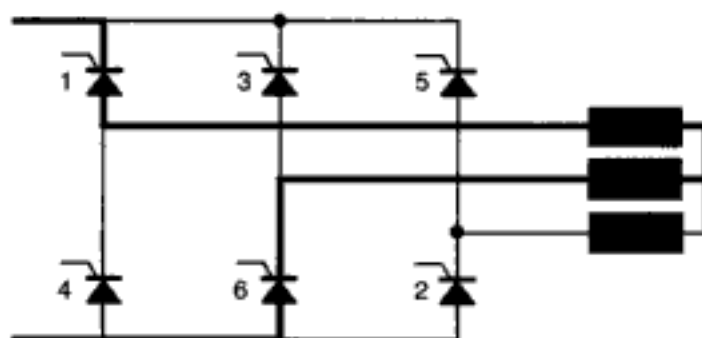


Figura 10. Conducen los tiristores 1 y 6, circula corriente por los devanados S y R.

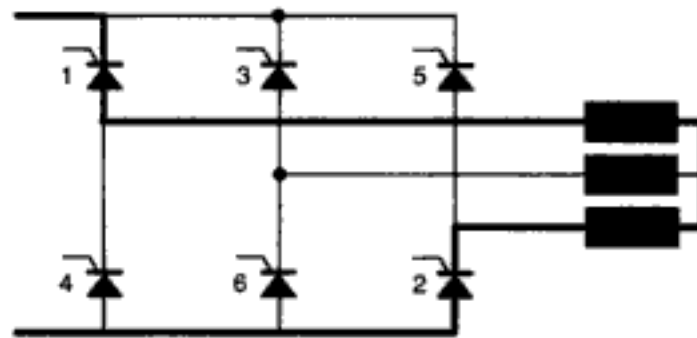


Figura 11. Conducen los tiristores 1 y 2, circula corriente por los devanados T y R.

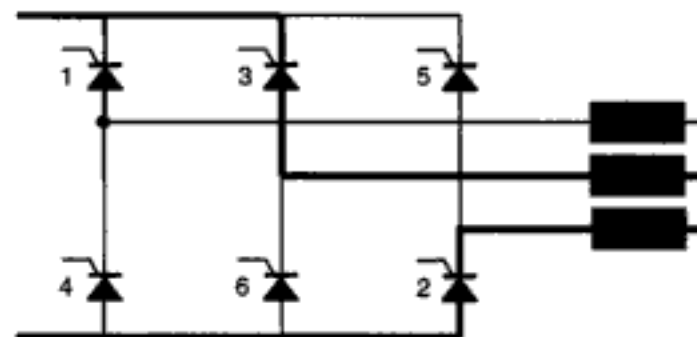


Figura 12. Conducen los tiristores 3 y 2, circula corriente por los devanados T y S.

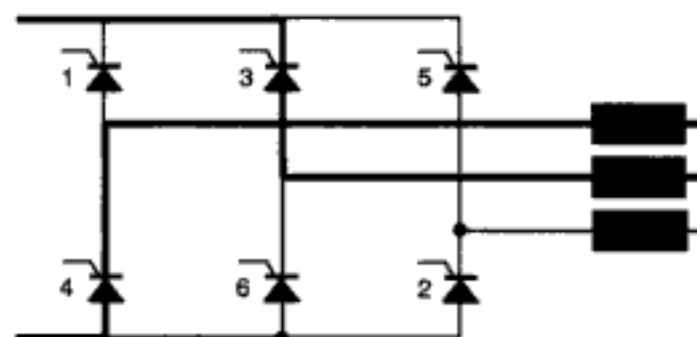


Figura 13. Conducen los tiristores 3 y 4, circula corriente por los devanados R y S.

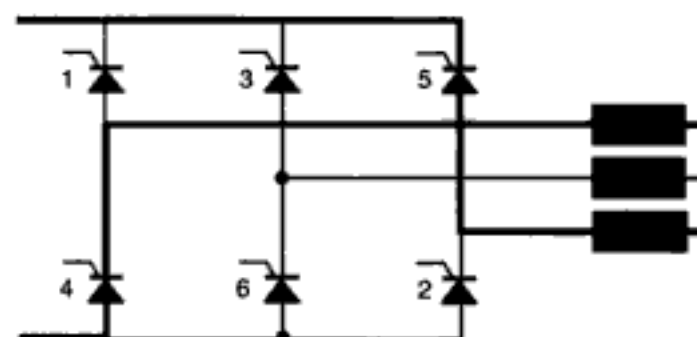


Figura 14. Conducen los tiristores 5 y 4, circula corriente por los devanados R y T.

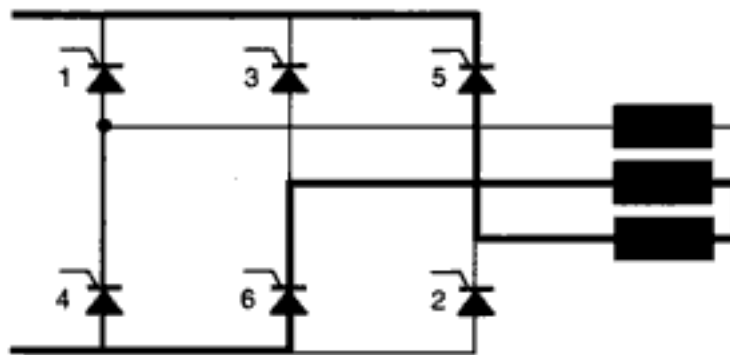


Figura 15. Conducen los tiristores 5 y 6, circula corriente por los devanados S y T.

- e) Conducen los tiristores 5 y 4 y circula corriente por los devanados R y T.
- f) Por último, conducen los tiristores 5 y 6 y ahora circula corriente por los devanados S y T.

La conducción de los tiristores es de 120° eléctricos; por tanto, la forma de onda, de corriente y tensión, es senoidal, ligeramente afectada por las conmutaciones de los tiristores.

En el transcurso de la conmutación, al conducir un tiristor, se produce el bloqueo del que estaba conduciendo.

2. Conceptos generales de máquinas eléctricas

CONSIDERACIONES PREVIAS

Para comprender el funcionamiento de un convertidor e incluso para ajustar los distintos parámetros de que dispone, se deben recordar algunos de los conceptos fundamentales de las máquinas eléctricas.

Como quiera que existe una cierta diversidad en la utilización de las unidades y de las fórmulas, es interesante disponer de tablas de equivalencia que las relacionen; por ello, a continuación se refleja una de las muchas tablas que circulan en cualquier catálogo o información de fabricantes de equipos relacionados con el motor.

<i>Magnitud</i>	<i>Unidad</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Equivalencia</i>
<i>Fuerza</i>	newton decanewton kilopondio (kilogramo-fuerza)	N daN kp	0,102 kp 1,020 kp 9,80 N
<i>Par</i>	newton-metro decanewton-metro kilopondio-centímetro kilopondio-metro	N m daN m kp cm kp m	0,102 kp m 1,02 kp m 0,9806 daN cm 0,9806 daN m
<i>Potencia</i>	vatio	W	0,101 kpm/s 0,001 CV

Par motor

Se denomina par motor al producto del radio de la polea motriz (R) por la fuerza (F) que actúa tangencialmente en el extremo de dicha polea (figura 16).

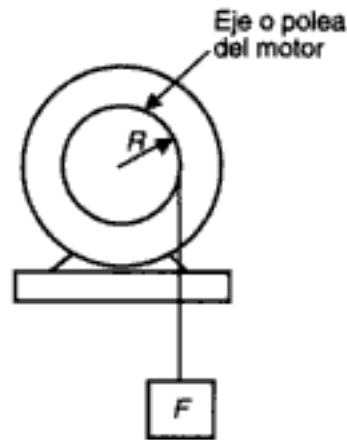


Figura 16. Representación del par motor en un motor eléctrico.

$$P_m = F \times R$$

donde: P_m = par motor en kg cm (o en N m)
 F = fuerza en kg (o en N)
 R = radio de la polea en cm (o en m)

Ejemplo:

Un motor es capaz de levantar 100 kg con una polea de 40 cm de diámetro. ¿Qué par motor tiene?

$$P_m = F \times R = 100 \times 20 = 2.000 \text{ kg cm}$$

Otra definición de par o momento es cuando una fuerza actúa descentrada sobre un cuerpo tendiendo a hacerlo girar.

Otra fórmula, más utilizada en motores, es:

$$P_m = \frac{P \cdot 9,55}{v}$$

donde: P_m = par motor (N m)
 P = potencia del motor (W)
 v = velocidad (r.p.m.)
 $9,55$ = constante ($30/\pi$)

Par máximo de un motor

$$P_{m\text{dx}} = 2,8 \cdot P_m = \text{N m}$$

Par de arranque de un motor

$$P_{arrq} = 2,4 \cdot P_m = \text{N m}$$

Par nominal de un motor

Se denomina par nominal al máximo par que un motor eléctrico puede desarrollar de manera permanente, sin sufrir en sus devanados sobrecalentamientos, cuando al aplicar la tensión nominal consume la intensidad nominal indicada en la placa de características.

Las fórmulas utilizadas para calcular los distintos tipos de par son considerando que al motor se le aplica la tensión y frecuencia nominales.

Trabajo mecánico

Se llama trabajo mecánico cuando una fuerza F recorre una distancia e .

$$T = F \times e$$

donde: T = trabajo mecánico (julios)

F = fuerza (newtons)

e = distancia (metros)

La fuerza que ejerce la gravedad sobre una masa de 1 kg es de 9,8 N.

$$1 \text{ kg} = 9,8 \text{ N}$$

Ejemplo:

¿Qué trabajo hace falta desarrollar para subir una masa de 25 kg a una altura de 5 m?

En primer lugar, se tienen que pasar los 25 kg a newtons:

$$9,8 \times 25 = 245 \text{ N}$$

$$T = F \times e = 245 \times 5 = 1.225 \text{ J}$$

Potencia

Se llama potencia al tiempo que se tarda en realizar un trabajo.

$$P = \frac{W}{t} = \text{vatios}$$

donde: P = potencia (vatios o kgm/s)
 W = trabajo (julios o kg/m)
 t = tiempo (segundos)

Ejemplo:

Un motor levanta en 20 s una masa de 25 kg a una altura de 5 m. Calcular la potencia en W, kW y CV desarrollada por el motor.

La fuerza es:

$$9,8 \times 25 = 245 \text{ N}$$

El trabajo realizado es:

$$W = F \times e = 245 \times 5 = 1.225 \text{ J}$$

La potencia es:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.225}{20} = 61,25 \text{ W}$$

Expresada en kilovatios:

$$\frac{61,25}{1.000} = 0,06125 \text{ kW}$$

Expresada en caballos de vapor:

$$\frac{61,25}{736} = 0,0832 \text{ CV}$$

Potencia de un motor

La potencia indicada en la placa de características de un motor es la potencia mecánica cedida en el eje, llamada también potencia útil, que depende de la velocidad de giro y del par motor.

$$P = \frac{N \times P_m}{9,55}$$

donde: P = potencia útil (W o CV)
 N = velocidad de giro (r.p.m.)
 P_m = par motor (N m o kp m)

$$P_m = \frac{N \times T}{716}$$

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm/s}$$

Relación entre la potencia y el par motor

Un motor eléctrico con una polea R acciona con una fuerza tangencial a una polea F .

Si el motor gira a una velocidad de N revoluciones por minuto, cuando dé una revolución completa habrá realizado un trabajo:

$$T = F \times e = F \times \frac{2\pi R}{1 \text{ r.p.m.}} = \text{kgm/s}$$

El número de revoluciones por minuto que dará en un segundo será $N/60$, por tanto, el trabajo desarrollado en un segundo será la potencia del motor en kgm/s:

$$P = F \times 2\pi R \times \frac{N}{60} = \text{kgm/s}$$

donde: T = trabajo
 F = fuerza
 e = espacio recorrido ($2\pi R$)
 R = radio de la polea
 N = velocidad de giro (r.p.m.)
 P_m = par motor

quedando:

$$P = \frac{F \times 2\pi R \times N}{60} = \text{kgm/s}$$

Como el factor $F \times R$ es igual al P_m , quedaría:

$$P = \frac{P_m \times 2\pi \times N}{60} = \text{kgm/s}$$

Si en vez de expresar esta potencia en kgm/s se hiciera en CV, se dividiría entre 75.

$$P = \frac{P_m \times 2\pi \times N}{60 \times 75} = \text{CV}$$

Como el P_m viene expresado en kg cm, para expresarlo en kg m se deberá dividir entre 100.

$$P = \frac{\frac{P_m}{100} \times 2\pi \times N}{60 \times 75} = \frac{P_m \times 2\pi \times N}{60 \times 75 \times 100} = \text{CV}$$

Despejando el P_m la fórmula quedaría:

$$P_m = \frac{60 \times 75 \times 100}{2\pi} \times \frac{P}{N}$$

Efectuando la operación de la primera fracción queda:

$$P_m = 71.620 \frac{P}{N}$$

donde: P_m = par motor (kg cm)
 P = potencia (CV)
 N = velocidad de giro (r.p.m.)
 71.620 = constante

Ejemplo:

Calcular el P_m de un motor de 10 CV de 4 polos, y qué peso levantaría con una polea de 30 cm de diámetro.

$$P_m = 71.620 \frac{P}{N} = 71.620 \frac{10}{1.500} = 477 \text{ kg cm}$$

El peso que levantaría con una polea de 30 cm (15 cm de radio) será:

$$P_m = F \times R, \quad F = \frac{P_m}{R} = \frac{477}{15} = 31,8 \text{ kg}$$

El motor levantaría este peso a razón de:

$$2\pi \times 15 \times 1.500 = 141.300 \text{ cm/min} = 1.413 \text{ m/min}$$

Par de aceleración

Se llama par de aceleración a la diferencia que existe entre el par resistente y el par motor; por tanto, cuanto mayor sea el par de aceleración, en menor tiempo se alcanzará la velocidad nominal (figs. 17 y 18).

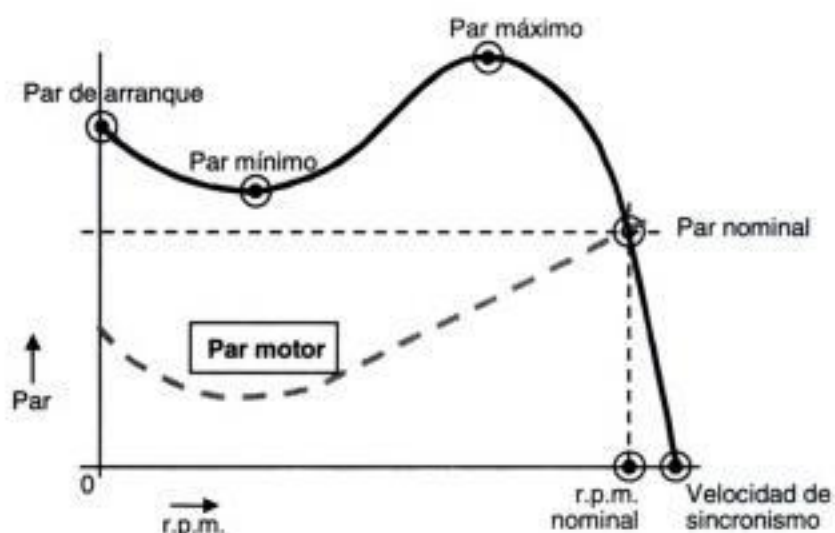


Figura 17. Curva de la variación del par motor en función de la variación de la velocidad del motor.

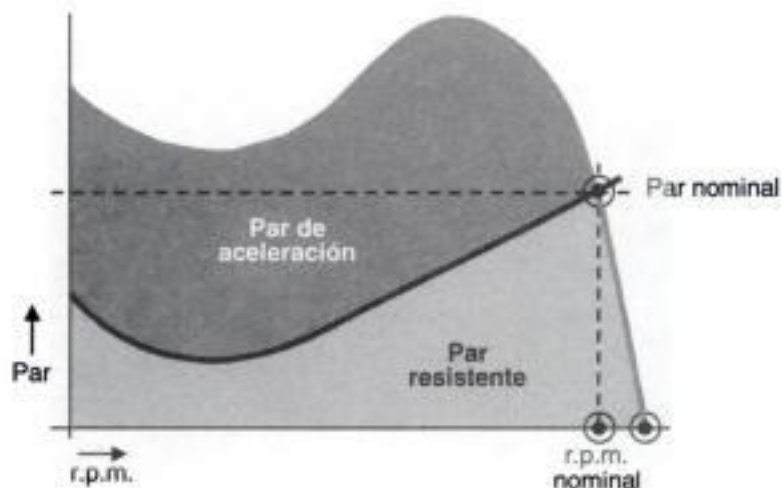


Figura 18. Curva de la variación del par resistente en función de la variación de la velocidad del motor.

Rendimiento de un motor

Se llama rendimiento eléctrico de un motor a la relación que existe entre la potencia útil, aprovechada por el motor, y la potencia absorbida por dicho motor:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

donde: η = rendimiento
 P_u = potencia útil
 P_a = potencia absorbida

Cuando el rendimiento se quiera expresar en porcentaje, la fórmula a emplear es:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100$$

Para conocer el rendimiento de un motor, se tiene que tener en cuenta que la placa de características siempre indica la potencia cedida en el eje.

Ejemplo:

Un motor de 10 CV absorbe de la red una potencia de 8.659 W. Calcular el rendimiento.

a) La potencia útil de este motor expresada en vatios, será:

$$P_u = 10 \times 736 = 7.360 \text{ W}$$

b) El rendimiento:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100 = \frac{7.360}{8.659} \times 100 = 84\%$$

El rendimiento de los motores oscila entre 75 y 98%, según su tamaño.

Si este motor se conectara a una tensión de 380 V, absorbería una intensidad de:

$$I = \frac{P}{\eta \times \sqrt{3} \times V \times \cos \alpha} = \frac{8.659}{0,84 \times 1,73 \times 380 \times 0,85} = 18,4 \text{ A}$$

pero si se conectara a 220 V, el consumo de intensidad sería:

$$I = \frac{P}{\eta \times \sqrt{3} \times V \times \cos \alpha} = \frac{8.659}{0,84 \times 1,73 \times 220 \times 0,85} = 31,9 \text{ A}$$

También se puede decir que la potencia absorbida o de entrada es igual a la potencia útil más la potencia perdida.

$$P_a = P_u + P_p$$

donde: P_a = potencia absorbida
 P_u = potencia útil
 P_p = potencia perdida

Por tanto, la potencia útil será también:

$$P_u = P_a - P_p$$

La potencia perdida (rozamiento, calor, pérdidas en el cobre, pérdidas en el hierro, etc.) se puede conocer conectando un vatímetro que mide la potencia absorbida, cuando el motor gira en vacío; como quiera que no tiene que suministrar potencia útil, toda ella será potencia perdida y se mantendrá constante cualquiera que sea la carga.

Recorrido de la potencia en un motor de inducción

La potencia activa que absorbe de la red un motor de inducción es la indicada por el vatímetro y pasa a los devanados del estator. Parte de esa potencia se pierde en ellos al calentarse (*pérdidas en el cobre*) y en la chapa magnética que aloja a los devanados (*pérdidas en el hierro*), que también se calienta.

En el rotor se induce una corriente eléctrica que, al circular por las barras metálicas (conductores) y tener también un circuito magnético (chapas magnéticas), origina unas pérdidas llamadas *pérdidas en el rotor*, que son la suma de las pérdidas en el cobre y en el hierro del rotor.

Como quiera que el rotor del motor gira y está apoyado en dos cojinetes, existirán unas *pérdidas por rozamientos*.

El ventilador de refrigeración del motor también supone unas pérdidas toda vez que este ventilador representa una carga adicional al motor; estas pérdidas son llamadas *pérdidas por ventilación*.

La figura 19, muestra el recorrido completo de la potencia y cómo se pierde por distintas causas; sin embargo, parte de ella es aprovechada como energía mecánica, que es el fin primordial de un motor eléctrico.

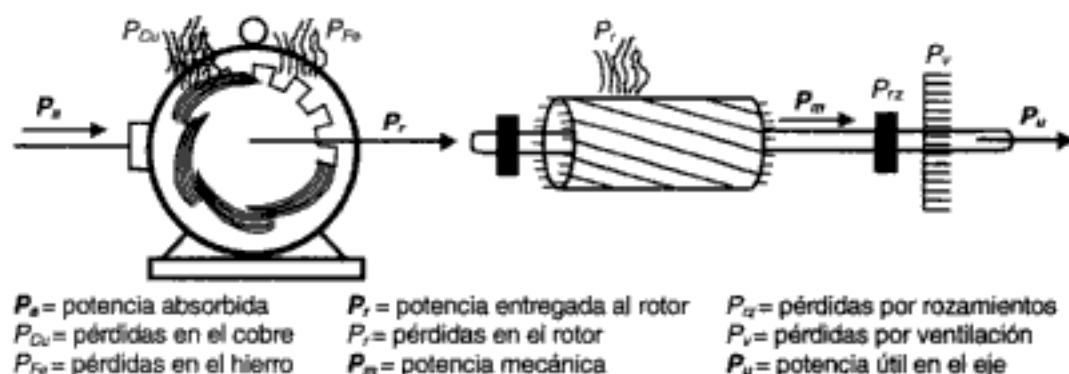


Figura 19. Recorrido de la potencia en un motor de inducción.

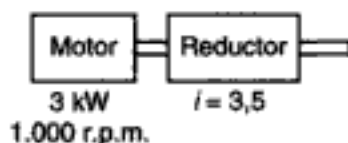
REDUCTORES MECÁNICOS

Un error que se comete con cierta asiduidad es pensar en anular el reductor en una máquina para reemplazarlo por un convertidor de frecuencia; antes de realizar esta operación se deben tener en cuenta algunos datos básicos que demostrarán que esta solución no es viable.

Un reductor mecánico es una máquina que reduce la velocidad que le llega a la entrada en la misma proporción que aumenta el par; esto es una ventaja muy importante, sobre todo en el arranque de la máquina.

En un motor de 3 kW de potencia y 1.000 r.p.m. el eje se acopla a un reductor con una relación de reducción de $i = 3,5$.

Las características de este reductor serán:



i = relación de reducción

n_M = r.p.m. en el motor

n_R = r.p.m. en el reductor

P_m = par en el motor

P_R = par en el reductor

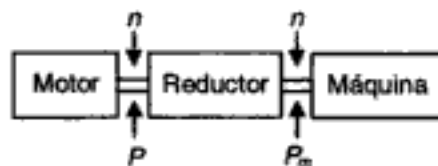
Velocidad de salida en el eje del reductor

La velocidad de salida en el eje del reductor viene expresada por la siguiente fórmula:

$$n_R = \frac{n_M}{i} = \frac{1.000}{3,5} = 286 \text{ r.p.m.}$$

Par desarrollado en el motor

$$P_m = \frac{9.550 \times P}{n} = \frac{9.550 \times 3}{1.000} = 28,65 \text{ N m}$$



$$P_m = \frac{9.550 \times P}{n}$$

donde: P_m = par motor (N m)
 P = potencia motor (kW)
 n = r.p.m.

Par desarrollado en el eje del reductor

$$P_R = \frac{9.550 \times P}{n_R} = \frac{9.550 \times 3}{286} = 100 \text{ N m}$$

Se debe tener en cuenta que los motores eléctricos de una cierta potencia muy pocas veces accionan directamente la máquina; generalmente lo hacen a través de un reductor.

Por tanto, si el par de salida del reductor, el que precisa la máquina, es mucho mayor que el par de entrada procedente del motor eléctrico, esto significa que para mover esa máquina se precisará un motor mucho más pequeño que si se accionara directamente sin reductor.

El par que proporciona un reductor será función de la velocidad de giro de salida y de la potencia de entrada al mismo.

Un ejemplo contribuirá a entender mejor el problema.

Ejemplo:

Se dispone de una máquina que precisa en su entrada una potencia de 10 CV y que es accionada por un conjunto mecánico formado por motor-variador-reductor que le proporciona esa potencia. La potencia del motor eléctrico es de 3 CV (figs. 20 y 21).



Figura 20. Conjuntos formado por motor-variador-reductor. (Cortesía Tecnotrans.)

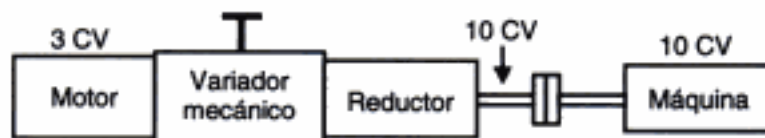


Figura 21. Conjunto motor-variador mecánico-reductor acoplado a una máquina que precisa 10 CV de potencia para funcionar.

Se pretende controlar el motor con un convertidor de frecuencia electrónico.

Si se prescinde del variador mecánico y del reductor, se tiene un motor de 3 CV controlado por convertidor de frecuencia, también de 3 CV, intentando accionar una máquina que precisa 10 CV (fig. 22).

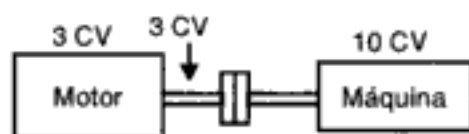


Figura 22. Motor de 3 CV acoplado directamente a una máquina que precisa 10 CV.

Una solución, y no precisamente la ideal, por lo costosa que sería, es cambiar el motor, de 3 CV, por uno de 10 CV de potencia e instalar un convertidor de 10 CV.

Es evidente que la solución idónea consiste en anular sólo el variador mecánico y controlar el motor de 3 CV con un convertidor de frecuencia electrónico de 3 CV, puesto que el reductor seguirá proporcionando la potencia necesaria para el accionamiento de la máquina de 10 CV (fig. 23).

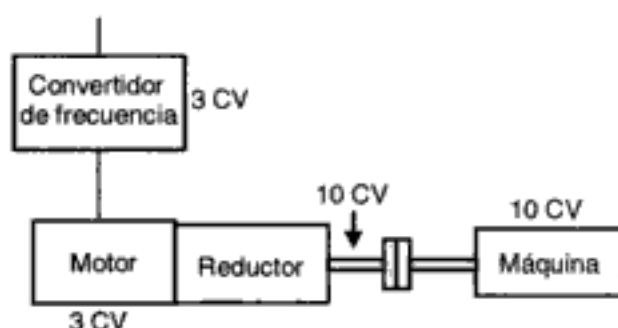


Figura 23. Convertidor de frecuencia de 3 CV que acciona un conjunto motor-reductor acoplado a una máquina que precisa 10 CV.

MOTOR DE INDUCCIÓN ASÍNCRONO TRIFÁSICO

El motor de inducción trifásico es el más utilizado en la industria debido a su sencillez constructiva; se podría decir que es el motor industrial por excelencia, de tal manera que aproximadamente un 99% de los motores instalados en la industria son motores asíncronos trifásicos.

Como quiera que los motores de inducción son conocidos por todos los profesionales que utilizan los convertidores de frecuencia, sólo se explicarán someramente las características más relevantes.

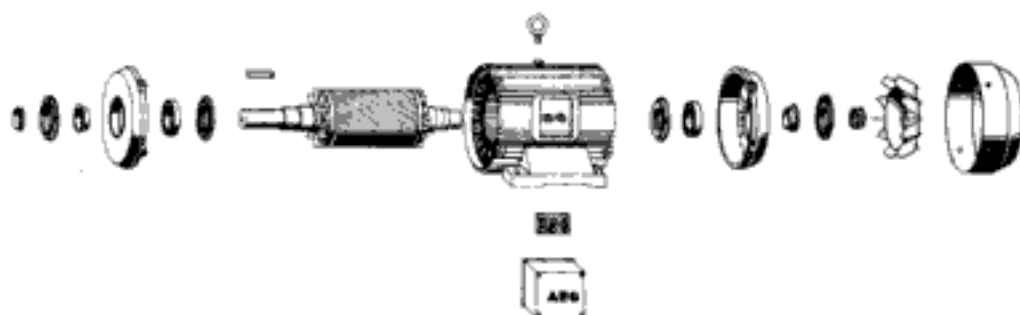


Figura 24. Despiece de un motor de inducción asíncrono. (Cortesía AEG.)

Las partes principales de un motor de inducción trifásico son las indicadas en la figura 24.

El principio de funcionamiento es el que se describe a continuación.

Al conectar el estator a una red trifásica de corriente alterna, se crea un campo magnético giratorio en las tres bobinas, o grupos de bobinas, que tiene el estator, desfasadas 120° eléctricos.

Este campo magnético giratorio induce en las espiras en cortocircuito del rotor una f.e.m. que hace que circule por ellas una corriente elevada.

Esta corriente, generada en el rotor, tiende a oponerse a la causa que la produce (ley de Lenz); como quiera que la causa que la produce es el campo magnético del estator, al tratar de oponerse obliga al rotor a desplazarse en el mismo sentido que el campo magnético del estator, intentando alcanzar la velocidad de este campo magnético giratorio.

El campo magnético inducido en el rotor nunca llegará a alcanzar al campo magnético giratorio del estator, ya que, de alcanzarlo, el motor se pararía. Esto es así porque al tratar de oponerse y conseguirlo el estator no induciría f.e.m. en el inducido y, por tanto, no habría movimiento.

Deslizamiento absoluto

La diferencia que existe entre la velocidad real del rotor con la velocidad del campo magnético giratorio recibe el nombre de deslizamiento absoluto. Normalmente suele ser de 1 a 7% según la potencia del motor:

$$S = S_1 - S_2$$

donde: S = deslizamiento absoluto

S_1 = velocidad del flujo giratorio

S_2 = velocidad del rotor

El deslizamiento aumenta cuando disminuye la potencia del motor, y para una misma potencia el deslizamiento aumenta cuanto más cargada está la máquina y, por tanto, el consumo también.

Se puede llegar al hipersincronismo cuando, empleando cualquier procedimiento, se supera la velocidad de sincronismo; se tendrá entonces un deslizamiento negativo, es decir, adelantado. Como consecuencia de esto, se producirá el funcionamiento del motor como generador (hipersincronismo), fenómeno que se aprovecha en las grúas como freno.

Deslizamiento relativo

Se llama deslizamiento relativo (δ) al cociente que resulta de dividir el deslizamiento absoluto entre la velocidad del flujo giratorio:

$$\delta = \frac{S}{S_1}$$

La velocidad del flujo magnético giratorio es función de la frecuencia y del número de polos del motor; se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S_1 = 60 \times \frac{f}{p}$$

donde: f = frecuencia

p = pares de polos de la máquina

Un ejemplo ayudará a comprender mejor estos conceptos.

En un motor tetrapolar (4 polos) las revoluciones por minuto medidas con un tacómetro son 1.395 r.p.m.

Se pretende conocer:

- La velocidad del flujo giratorio.
- El deslizamiento absoluto.
- El deslizamiento relativo.

a) La velocidad del flujo giratorio es:

$$S_1 = 60 \times \frac{f}{p} = 60 \times \frac{50}{2} = 1.500 \text{ r.p.m.}$$

b) El deslizamiento absoluto es:

$$S = S_1 - S_2 = 1.500 - 1.395 = 105 \text{ r.p.m.}$$

c) El deslizamiento relativo es:

$$\delta = \frac{S}{S_1} = \frac{105}{1.500} = 0,07 = 7\%$$

Marcha de un motor de inducción asíncrono

En la puesta en marcha de un motor de inducción asíncrono, se tienen que considerar dos periodos bien definidos:

Periodo de arranque

Se llama periodo de arranque al momento en el que se aplica tensión al devanado del estator, estando el rotor parado.

En ese momento el motor tiene que vencer la resistencia de la máquina acoplada a su eje, ventilador, rodamientos, etc.

Esta resistencia que tiene que vencer el motor trae como consecuencia un valor considerable de la intensidad absorbida durante el arranque.

Periodo de aceleración

Es el tiempo transcurrido desde el momento que se le aplica tensión al estator hasta alcanzar la velocidad nominal.

La intensidad absorbida durante el arranque va descendiendo progresivamente, a la vez que el motor va aumentando su velocidad hasta llegar a su valor nominal.

Par motor de un motor con convertidor

El par es función de la tensión y de la frecuencia, de tal manera que la fórmula que las relaciona es:

$$\text{Par} = \frac{V(V)}{f(\text{Hz})}$$

Si se pretende obtener un par constante en cualquier velocidad, se tiene que modificar, en la misma proporción, la tensión cada vez que se modifique la frecuencia. También se puede conseguir un par constante controlando la corriente magnetizante.

$$\text{Par} = \frac{V}{f} = \text{flujo magnético}$$

Por lo general, la tensión es variable, proporcionalmente a la frecuencia, hasta llegar a los 50 Hz, trabajando el motor a par constante hasta este punto.

A partir dicha frecuencia, la tensión permanece fija por lo que el motor trabaja con un par menor pero con una potencia constante.

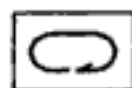
3. Principales parámetros configurables

CONSOLA DE PROGRAMACIÓN

La consola de programación no sólo vale para programar los valores de los distintos parámetros que se pretendan introducir a un convertidor de frecuencia, también sirve para visualizar el funcionamiento y detectar posibles anomalías, tanto del convertidor como del motor (fig. 25).

TECLAS MÁS UTILIZADAS

Las teclas utilizadas en las consolas de programación de los convertidores de frecuencia difieren muy poco de un fabricante a otro, siendo todas muy intuitivas ya que relacionan el dibujo serigrafiado en ella con la función que realizan. Las teclas más normales son:



Mode: Esta tecla se utiliza para cambiar de modo de trabajo y programar los distintos parámetros de que dispone el convertidor; asimismo, se utiliza para visualizar los distintos parámetros programados.



Más: Al accionar esta tecla, aumentará un dígito el parámetro que esté presente en ese momento. Si se mantiene pulsada la tecla se irán incrementando los dígitos de manera rápida y progresiva hasta que se deje de presionar.



Menos: Al accionar esta tecla, disminuirá un dígito el parámetro que esté presente en ese momento. Al igual que la anterior tecla, si permanece presionada irá disminuyendo rápidamente y progresivamente los dígitos hasta dejar de presionar.

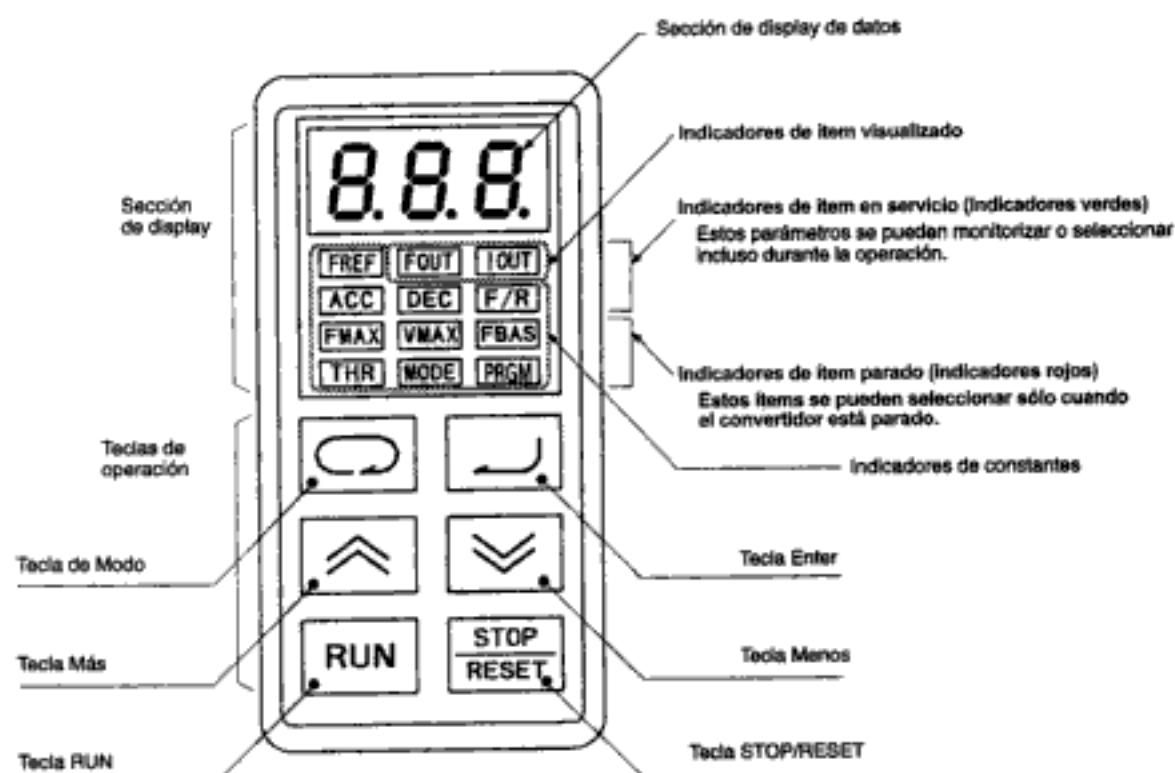
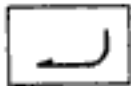
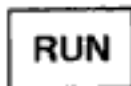
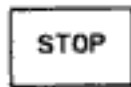
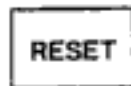


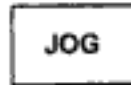
Figura 25. Consola de programación de un convertidor de frecuencia EV. (Cortesía Omron Electronics)

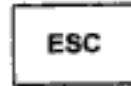
 **Enter:** Se utiliza para validar los datos o valores seleccionados en los distintos parámetros. Esta tecla es la equivalente a la tecla Intro o Return de los ordenadores.

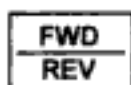
 **Run:** Se utiliza para poner en marcha el motor cuando está habilitado para maniobrar con consola de programación.

 **Stop:** Se utiliza para parar el motor, cuando está el convertidor habilitado para maniobrar con la consola de programación.

 **Reset:** Se utiliza para volver a reponer el convertidor a su estado original al producirse cualquier error, sea éste de la naturaleza que sea.

 **Jog:** En tanto esté accionada esta tecla, se pone en marcha el convertidor a la frecuencia programada.

 **Esc:** Al accionar esta tecla, vuelve al estado anterior.



FWD/REV: Selecciona, alternativamente, el sentido de giro, directo o inverso, del motor.



Local/Remote: Selecciona, alternativamente, operación con la consola o selección de parámetros.

Pulsando, sucesivamente, la tecla **Mode**, con el convertidor parado, se van iluminando los LED de las distintas opciones.

Cuando permanece encendido el LED de **FREF**, se selecciona la frecuencia máxima a la que girará el motor.

Al desplazar, con la tecla **Mode**, al LED **FOUT**, cuando se ponga en marcha el convertidor, se visualizará, en tiempo real, el valor que toma la frecuencia de salida del convertidor, esto es, la velocidad indirecta.

Este valor visualizado, en hercios, se multiplica por 30, supuesto un motor de 4 polos a 1.500 r.p.m., y se obtienen las revoluciones por minuto del motor.

Ejemplo:

El display de un convertidor visualiza 25 Hz, el motor es de 4 polos, 1.500 r.p.m. ¿A qué velocidad gira el motor?

$$25 \times 30 = 750 \text{ r.p.m.}$$

Evidentemente, esta velocidad es la síncrona, es decir, la velocidad del campo magnético; para conocer la velocidad real del eje del motor, se le tendría que restar el deslizamiento del motor.

En un motor de 2 polos, 3.000 r.p.m., el factor multiplicador será 60. Continuando con el mismo ejemplo anterior, el motor giraría, supuesto que se visualicen en el convertidor 25 Hz:

$$25 \times 60 = 1.500 \text{ r.p.m.}$$

Con el LED **IOUT** encendido y el motor en marcha, se visualizará la corriente de salida que está proporcionando el convertidor; lógicamente, la que está consumiendo el motor en cada momento.

Cuando esté el LED **ACC** iluminado, se puede seleccionar el tiempo de aceleración, en segundos.

Si con la tecla **Mode** se desplaza hasta el LED **DEC**, se podrá seleccionar la rampa de desaceleración; esto es el tiempo de parada del motor.

Para seleccionar un sentido de giro determinado en el motor, basta desplazarse con la tecla **Mode** hasta el LED **F/R**, una vez iluminado éste, al pulsar flecha arriba o flecha abajo y después **Enter**, se cambiará el sentido de giro en el motor.

Estos seis LED se pueden seleccionar aunque el motor esté en marcha. Cualquier modificación efectuada en estos parámetros deberá ir seguida de la pulsación de la tecla **ENTER** para validar las modificaciones.

Con el motor parado se puede seleccionar el resto de los parámetros de que disponga el convertidor.

PARÁMETROS AJUSTABLES

Se van a tratar de una manera somera los principales parámetros que disponen casi todos los convertidores; se debe tener en cuenta que hay fabricantes que incorporan algunos que son específicos, para diferenciarse de la competencia ofreciendo *ese algo más* que otros no tienen; en cualquier caso, todos llevan los aquí citados.

Frecuencia mínima

Con este parámetro se programa la frecuencia mínima a la que debe girar el motor.

Se llama velocidad mínima a la velocidad a que debe comenzar a girar el motor al accionar la orden de marcha, bien sea con potenciómetro, por consola o por entrada analógica, entrada en tensión o corriente.

Utilizando un potenciómetro puesto al mínimo el motor girará a la frecuencia mínima programada, cualquiera que sea esta velocidad, alta o baja.

Los convertidores analógicos disponen de un potenciómetro de ajuste de velocidad mínima, montado en el interior del convertidor, que maniobrándolo ajusta la velocidad mínima a la que debe comenzar a girar el motor.

Ejemplo:

Se pretende que un motor comience a girar, al recibir la orden de marcha, a 300 r.p.m.

Se pone en marcha el convertidor.

El potenciómetro de maniobra, el que utiliza el usuario, se desplaza al mínimo; con el potenciómetro de ajuste de velocidad mínima, el instalado en el interior del convertidor, se va modificando hasta conseguir que el motor gire a 300 r.p.m.

Para conocer el valor de la velocidad de giro del motor, el convertidor dispone de un visualizador que indicará el valor en hercios; cuando se visualice 10 Hz, suponiendo un motor de 1.500 r.p.m. a 50 Hz, está girando a 300 r.p.m.

Si el convertidor es un poco antiguo o excesivamente básico y no se dispone de visualizador, tómese un tacómetro portátil y mídase la velocidad

en el eje del motor, visualícese 300 r.p.m. y déjese de modificar el potenciómetro de ajuste en ese momento.

Cuando se ponga en marcha el convertidor, el motor comenzará a girar según la posición del potenciómetro de control; si éste estuviera en la posición mínima, el motor giraría a 300 r.p.m., velocidad mínima programada.

Los convertidores digitales disponen de un parámetro llamado velocidad mínima en la que, mediante la consola de programación, se accede a este parámetro y se configura su valor, en hercios.

Existen convertidores que aun siendo digitales sólo poseen las prestaciones básicas y no contemplan este parámetro de velocidad mínima. Una buena solución para obtener dicha velocidad al tener desplazado el potenciómetro de control al mínimo es instalar en serie con éste una resistencia de ajuste y modificarla hasta que, con el potenciómetro de control girado al mínimo, se obtengan las revoluciones deseadas (fig. 26).

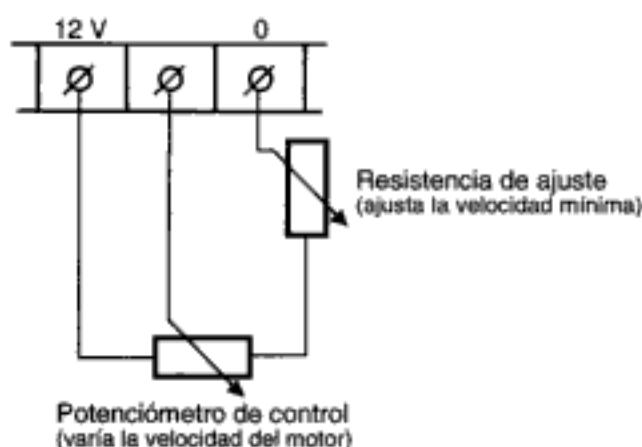


Figura 26. Disposición de la resistencia de ajuste para limitar la velocidad mínima.

El convertidor, en los bornes donde se conecta el potenciómetro, proporciona una tensión de 0-12 V. Mediante el desplazamiento de éste se puede obtener en el borne del dial, con respecto al borne 0 V, una tensión comprendida entre 0 y 12 V, según en la posición que esté situado el dial.

Se pueden utilizar estos bornes como entrada analógica conectándoles un receptor, por ejemplo, una fotocélula analógica, que proporcione 0-10 V; para ello basta conectar este dispositivo al borne 0 V y, donde anteriormente se conectaba el dial del potenciómetro, ahora se debe conectar la salida analógica de dicho dispositivo (fig. 27).

Asimismo, utilizando otro tipo de valor de referencia, por ejemplo:

0-4 mA; 4-20 mA; 20-4 mA; 0-10 V; 10-0 V

el valor de la frecuencia mínima se conseguirá cuando se tenga, como valor de referencia, 0, 4, 20 mA, o 0, 10 V, respectivamente, según el ejemplo.



Figura 27. Conexión de una fotocélula analógica a un convertidor de frecuencia.

Frecuencia máxima

Se puede programar la frecuencia máxima a la que debe girar el motor. La frecuencia nominal se consigue cuando se alcanzan los 50 Hz, pero este valor se puede superar programando en el convertidor una frecuencia mayor que puede llegar hasta los 480 Hz.

La velocidad a la que podría girar un motor estándar de 2 polos, 3.000 r.p.m., sería 14.400 r.p.m., evidentemente excesiva, supondría un 400% de las revoluciones nominales del motor. Si bien eléctricamente el motor las soportaría sin problema alguno, mecánicamente esa velocidad conduciría a la destrucción del motor, rodamientos, ajustes, casquillos, etc.

Utilizando un potenciómetro, con éste girado al máximo, el motor girará a la velocidad programada con el parámetro de frecuencia máxima.

Los convertidores analógicos llevan en su interior un potenciómetro de ajuste de velocidad máxima. Para limitar ésta, se ha de seguir el mismo procedimiento que el utilizado anteriormente para limitar la velocidad mínima.

Si se pretende limitar la velocidad máxima en un convertidor sin potenciómetro de ajuste de velocidad máxima, se tiene que instalar en serie con el mismo, en el borne de 12 V de control, una resistencia de ajuste; así, cuando el potenciómetro de control esté desplazado al máximo, tendrá en serie la resistencia de ajuste que limitará la velocidad máxima, tanto más cuanto mayor valor óhmico tenga intercalado (fig. 28).

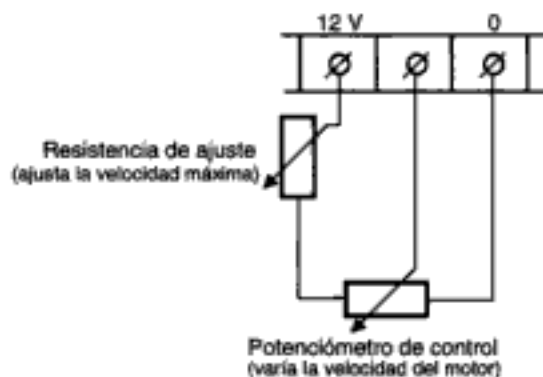


Figura 28. Disposición de la resistencia de ajuste para limitar la velocidad máxima.

Si se utiliza otro valor de referencia, el valor de la frecuencia máxima se conseguirá en 4 mA, 20 mA, 4 mA, 10 V, 0 V, para unos valores de:

0-4 mA; 4-20 mA; 20-4 mA; 0-10 V; 10-0 V

Parada de un convertidor

Un convertidor se puede parar al accionar la tecla de STOP, en la consola de programación, o al accionar el pulsador de parada, de varias maneras distintas:

- Por marcha libre.
- Por desaceleración de frecuencia.
- Inyección de c.c.
- Por resistencia de frenado.
- Motor libre a la parada con temporizador.

Tiempo de frenado

Es el tiempo que tarda en alcanzar la frecuencia cero desde la frecuencia máxima absoluta que se le programe al convertidor.

Se entiende el frenado o desaceleración, desde que se le da un valor de referencia cero, es decir, desde que se abre el contacto de marcha/parada.

Marcha libre

Al provocar la orden de parada, apertura del contacto SR, si es por terminal de control o al accionar la tecla STOP cuando se maniobra por consola de programación, instantáneamente cesa la tensión de salida en el convertidor dejando éste sin tensión al motor.

Al quedar sin tensión el motor, sólo tendrá el par resistente que le provoca la máquina accionada, parando progresivamente. El tiempo de parada dependerá del valor del par resistente de la máquina (fig. 29).

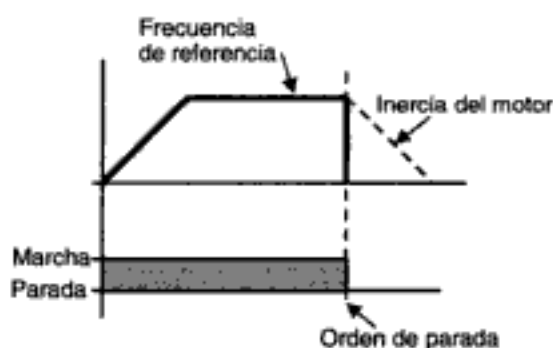


Figura 29. Curva de parada de un motor por marcha libre.

Desaceleración de frecuencia

Cuando se configura la parada del motor con el parámetro de desaceleración de frecuencia, y el convertidor recibe esta orden de parada, éste irá reduciendo la tensión y la frecuencia progresiva y proporcionalmente en función del tiempo (en segundos) programado en el mencionado parámetro (fig. 30).

Si el tiempo de parada programado en el convertidor es menor que el que tarda en parar el motor, el convertidor calcula este tiempo y cuando llega a un valor próximo al final del tiempo de parada programado y el motor gira demasiado rápido para poder parar, inyecta una tensión continua a dos de los devanados del motor (cuyo valor y duración dependerá de las revoluciones del motor en ese momento) consiguiendo con ello su parada dentro del parámetro de desaceleración programado.

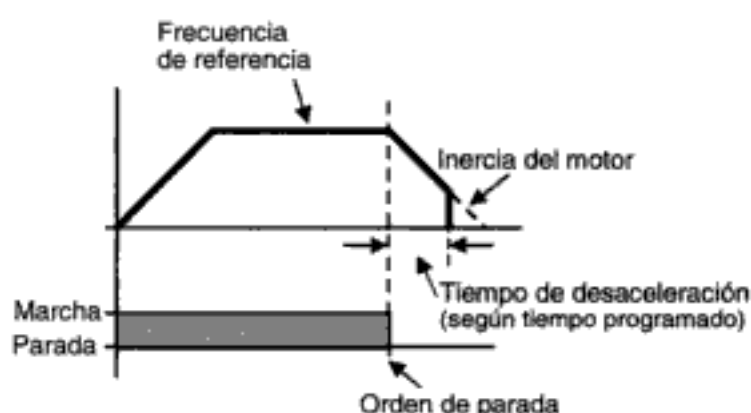


Figura 30. Curva de parada de un motor por desaceleración de frecuencia.

Inyección de c.c.

Al recibir el convertidor la orden de parada, tanto la tensión como la frecuencia irán disminuyendo en función del valor del parámetro de desaceleración, pasando posteriormente el convertidor a *inyectar* una tensión de corriente continua a dos devanados del motor, lo que le provoca una frenada brusca.

El valor y el tiempo que dura la tensión de corriente continua inyectada al motor lo configura el usuario con los parámetros de:

- Tiempo de inyección de corriente continua a la parada.
- Control por inyección de corriente continua.

Este sistema se emplea cuando se pretende una parada muy rápida del motor (fig. 31).

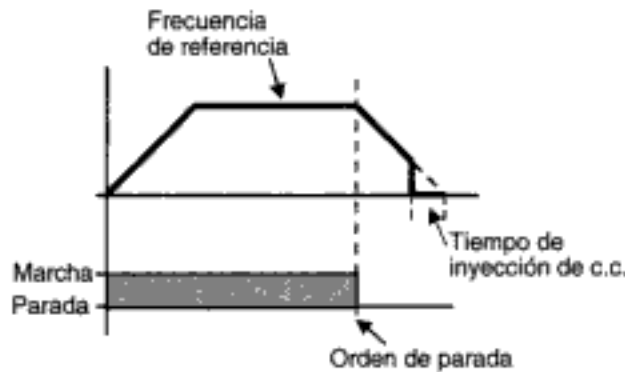


Figura 31. Parada rápida de un motor por inyección de c.c. a dos de sus devanados.

Motor con parada libre y temporizador

A un convertidor se le puede inhibir la marcha durante un tiempo, pre-fijado a voluntad por el usuario, en tanto dure la parada del motor.

Si a un motor que está girando a 1.000 r.p.m. como frecuencia máxima programada, se le da una orden de parada, comienza a disminuir su velocidad porque el convertidor proporciona menos frecuencia de salida. Si en ese intervalo que dura la parada libre del motor (tiempo de desaceleración programado previamente) se le da una orden de marcha al convertidor, éste no obedecerá dicha orden, aunque la acepta y la memoriza, hasta que esté parado el motor; si transcurrido este tiempo de parada y llegado a la frecuencia cero persiste la orden de marcha, comenzará la curva de aceleración programada en el convertidor y, como consecuencia, el motor comenzará a girar (fig. 32).

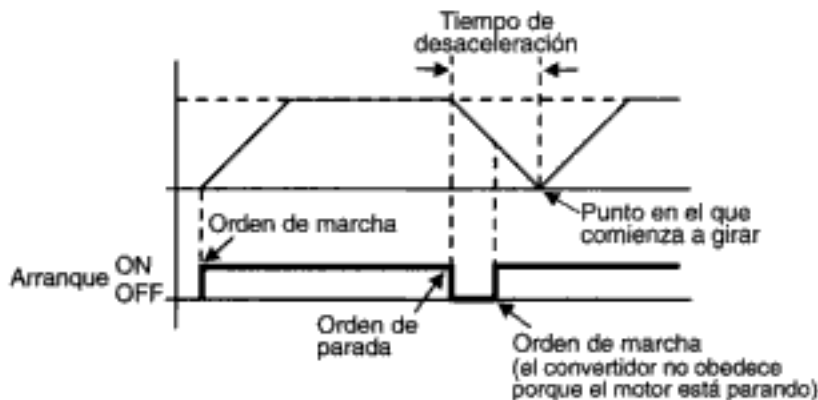


Figura 32. Inhibición de la marcha durante la parada del motor.

Resistencia de frenado

Un motor al parar por el sistema de parada libre estará girando durante un tiempo que dependerá de la máquina que esté accionando. Mientras esté girando, en determinadas ocasiones genera tensión; ésta irá disminuyendo

con la velocidad de giro del motor. Ahora bien, mientras dure esta tensión puede ser peligrosa para los componentes electrónicos del convertidor que lo están controlando, porque le inyecta corriente por la salida al convertidor.

Para tratar la regeneración, se utilizan dos métodos:

- *Frenado dinámico.* La corriente generada se disipa en una resistencia llamada de frenado.
- *Frenado regenerativo.* La corriente generada se devuelve a la red, vía convertidor.

Si el motor tiene que realizar una parada instantánea que no se pueda conseguir con los procedimientos anteriores (desaceleración de frecuencia, inyección de corriente continua) opcionalmente se le puede conectar una resistencia de frenado en dos bornes, B1 y B2, que los convertidores llevan al efecto (fig. 33).

Esta resistencia absorberá la corriente generada por el motor al girar libre de tensión y la disipará en forma de calor.

El circuito de frenado en el interior del convertidor es, en realidad, un divisor de tensión conectado al bus de continua (salida del filtro); este divisor ataca la base de un transistor de potencia, a cuyo colector se conecta exteriormente la resistencia de frenado (fig. 34).

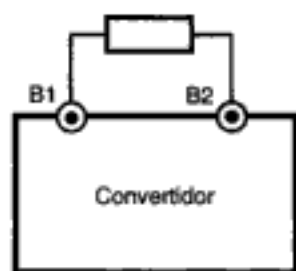


Figura 33. Conexión de una resistencia de frenado.

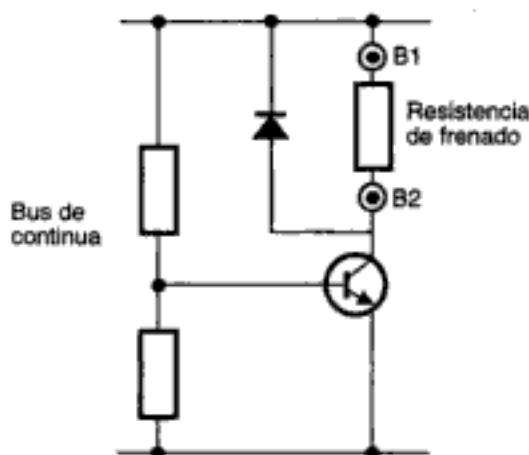


Figura 34. Divisor de tensión en el circuito de frenado de un convertidor.

Funcionamiento del divisor de tensión

En determinadas aplicaciones, por ejemplo un montacargas en el ascenso, el motor gira a una velocidad inferior a la de sincronismo, absorbiendo de la red la energía que necesita para este trabajo.

Durante el descenso, el montacargas es afectado por la fuerza de gravedad, lo que hace que aumente su velocidad girando a una velocidad mayor que la de sincronismo.

El motor, al girar a una velocidad supersíncrona, se comporta como un generador asíncrono transformando la energía mecánica, que recibe a través de su eje, en energía eléctrica que retorna al convertidor.

Si el valor de la tensión generada en el motor, cuando trabaja como generador asíncrono, es menor que el valor que normalmente tiene el bus, generalmente 12 V, lo absorbe las resistencias del divisor de tensión y no ceba el transistor a través de su base.

Por el contrario, cuando la tensión generada es de un valor superior al del bus, en el divisor aparecerá una tensión que se aplica a la base del transistor y provoca la circulación de corriente entre el emisor y la base, haciendo circular una corriente entre el positivo y el negativo del bus de continua a través de la resistencia de frenado (bornes B1-B2) disipándose en ésta, en forma de calor, la corriente generada por el motor.

El valor de las resistencias del divisor de tensión dependerá del tipo de transistor a usar y, a su vez, éste dependerá de la potencia del convertidor.

Este sistema se utiliza en convertidores de pequeña potencia debido a que el circuito de control va instalado en el interior del convertidor, pero no siempre una resistencia de frenado es suficiente para frenar el motor de una manera instantánea, por lo que hará falta usar otro elemento de frenado que sea más eficaz.

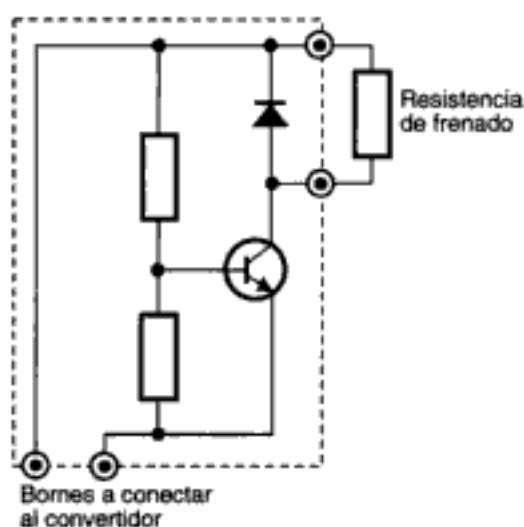


Figura 35. Esquema de conexiones de unidad de frenado exterior.

Ahora bien, como el transistor de potencia es insuficiente para soportar la intensidad de dos o más resistencias de frenado conectadas a los bornes B1 y B2, se tendrá que conectar otro circuito de control, divisor de tensión con transistor de potencia, para conectar otra resistencia de frenado adicional (fig. 35).

Los convertidores a partir de una cierta potencia prevén esta contingencia y los bornes del circuito de frenado que salen a su exterior están preparados para conectar tantos circuitos de control de resistencia de frenado como se precisen para realizar un buen frenado (fig. 36).

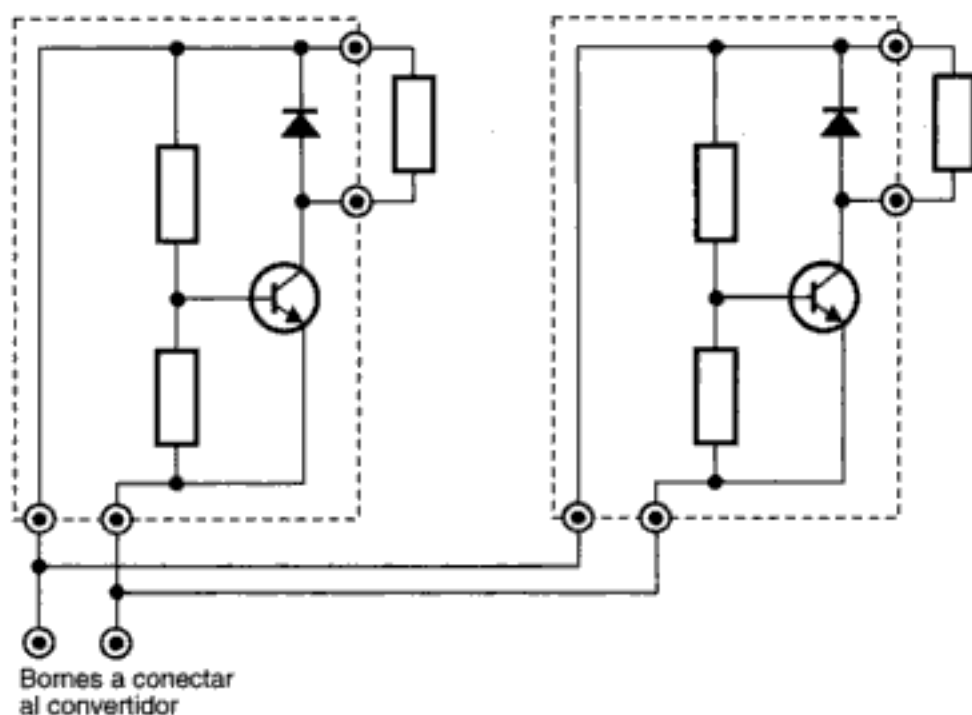


Figura 36. Esquema de conexión de varias unidades exteriores de frenado.

El valor de estas resistencias estará relacionado con la potencia del motor y el tipo de convertidor; por ello, se recomienda, en caso de precisar conectar una resistencia de frenado a un convertidor, ponerse en contacto con el fabricante que proporcionará la resistencia adecuada a cada convertidor.

Tiempo de inyección de c.c. al arranque

En determinadas aplicaciones existen motores que giran en vacío, por ejemplo, ventiladores que el mismo aire ambiente hace que giren en sentido contrario; esta velocidad de giro dependerá de la fuerza y la velocidad del viento que circule por el lugar donde esté instalado el ventilador.

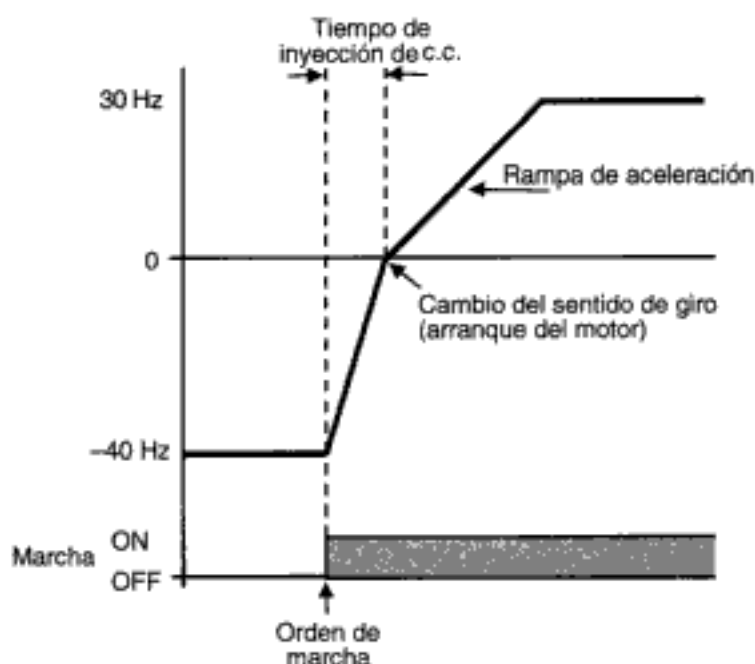


Figura 37. Curva resultante una vez configurado y aplicado el tiempo.

Si en ese momento se decide poner en marcha el motor, se produciría en él una inversión de giro excesivamente brusca que provocaría un gran consumo en el motor; esto podría producir graves daños en el convertidor y aflojar las aspas del ventilador, con el consiguiente peligro que esto conlleva.

Para solucionar este problema, los convertidores incorporan un parámetro llamado tiempo de inyección de c.c. al arranque que, como su nombre indica, una vez activado al accionar la marcha del convertidor no lo pone en marcha; en su lugar, memoriza esa orden e inyecta una c.c. a dos de los devanados del motor durante un tiempo, provocando un frenado del motor, y una vez parado éste, el convertidor comienza la rampa de aceleración programada (fig. 37).

Esta medida evita el consumo excesivo del motor, sobrecargas del convertidor y daños en la máquina accionada.

Tiempo de aceleración

Es el tiempo que se tarda en alcanzar la frecuencia máxima absoluta programada desde 0 Hz, o tiempo empleado en recorrer todo el margen de frecuencias del convertidor.

Suponiendo un valor de frecuencia máxima programada de 40 Hz y 10 s de rampa de aceleración, al poner en marcha el convertidor comenzará a girar y transcurridos 10 s el motor girará a 40 Hz. Durante este tiempo la velocidad irá aumentando proporcionalmente al tiempo de rampa de aceleración programado.

Contraseña de entrada en parámetros

Los convertidores digitales disponen de un parámetro principal con varias opciones que permiten seleccionar y modificar el resto de los parámetros; esto tiene por objeto que no se puedan modificar, aunque sí visualizar, por personas no autorizadas; asimismo, entre las distintas opciones dispone de una que permite volver a la selección inicial de fábrica todos los parámetros modificados, quedando el convertidor configurado otra vez con los parámetros iniciales.

Otros convertidores más sofisticados disponen de *password*; es decir, una contraseña de 3 o 4 dígitos que, una vez introducida correctamente, permite visualizar y modificar los distintos parámetros del convertidor.

La contraseña se puede cambiar a voluntad, por el usuario, cuantas veces se quiera.

En caso de no introducir la contraseña correcta, por no acordarse o no saberla, se puede “resetear” el convertidor, perdiendo éste todos los valores que tuvieran programados los distintos parámetros; es decir, se tendría que comenzar a programar otra vez según la aplicación.

Visualizador

En un convertidor digital el visualizador es un dispositivo que tiene como misión ayudar a configurar los distintos parámetros introducidos en él para obtener las prestaciones necesarias y, además, para conocer el comportamiento del convertidor y del motor cuando está en marcha.

Así, durante la marcha se puede visualizar la frecuencia actual que está proporcionando el convertidor, la intensidad que está consumiendo el motor, etc.

Durante la parada se pueden visualizar los valores actuales de todos los parámetros.

En un convertidor analógico, el visualizador dispone de menos prestaciones (sólo visualiza la frecuencia de salida, puesto que los demás parámetros se configuran con pequeños DIP y potenciómetros).

Ahorro energético

Se llama ahorro energético a la diferencia que existe entre la tensión máxima, que corresponde a una velocidad programada, y la tensión que realmente necesita el motor en un momento determinado según su carga.

Ejemplo:

Se pretende hacer girar un motor estándar a una frecuencia de 50 Hz con el control de ahorro energético activado (fig. 38).

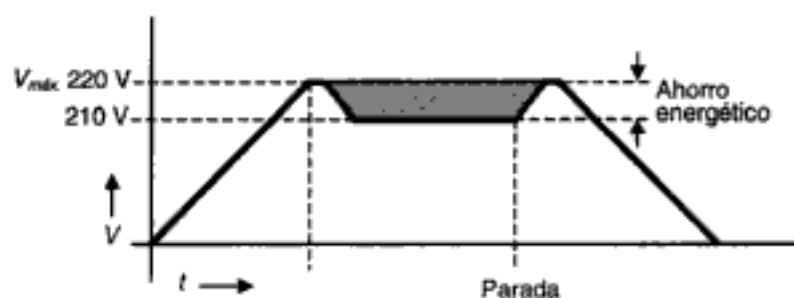


Figura 38. Curva de ahorro energético de un motor al funcionar a 50 Hz.

Al poner en marcha el convertidor, la tensión y la frecuencia aumentan de manera proporcional hasta alcanzar la frecuencia máxima programada (en el ejemplo 50 Hz).

A este valor de frecuencia máxima programada le corresponde un determinado valor de tensión máxima (en el ejemplo 380 V), que significa el 100% de la tensión nominal.

Una vez alcanzado este punto de tensión y frecuencia máximas, la tensión comienza a descender hasta situarse en el punto ideal acorde con la demanda de la carga, suministrando en todo momento la potencia precisada por ésta; es decir, calcula automáticamente la tensión a aplicar en función de la carga del motor.

Este nuevo punto de tensión se llama curva de ahorro energético.

Los valores ideales para el control de ahorro energético son configurados por el fabricante, por lo que sólo se precisa un ajuste mínimo según el motor a utilizar; por ello, sólo es necesario activar el parámetro de ahorro energético siguiendo las instrucciones del convertidor.

El valor que puede alcanzar la tensión con control de ahorro energético activado puede llegar al 33% de la tensión nominal.

Al dar la orden de parada, la tensión comenzará a subir hasta alcanzar el valor que le corresponde a la tensión/frecuencia máxima y, una vez alcanzado este punto, la tensión comenzará a descender proporcionalmente a la frecuencia según la rampa de desaceleración programada.

Intensidad máxima

Permite una intensidad máxima, programada por el usuario, durante un máximo de 30 segundos; pasado este tiempo de acuerdo con la función $I \times t$, pasa al valor de la intensidad permanente programada con el parámetro de intensidad permanente.

Si la intensidad del motor sobrepasa el valor programado por el parámetro de la intensidad permanente, el controlador de intensidad del convertidor intenta controlar la tensión y la frecuencia del motor, y si con esto no se reduce su intensidad, el convertidor lo desconecta (fig. 39).

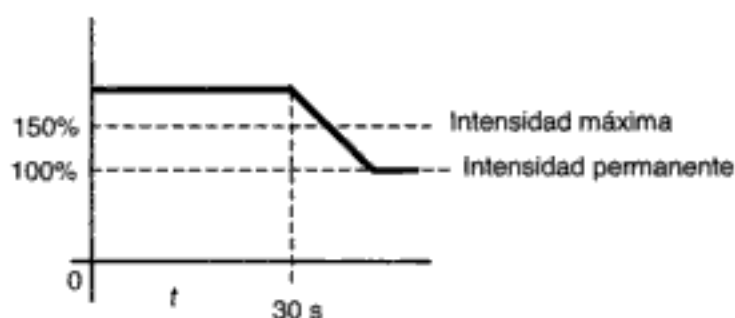


Figura 39. Curva de desconexión del equipo en función de la intensidad máxima.

Intensidad permanente

Es la máxima intensidad permanente permitida por el motor; si se sobrepasa este valor, programado por el usuario, se produce la desconexión del equipo (fig. 39).

Refuerzo del par de arranque

Para incrementar el par de arranque de un motor se precisa aumentar la tensión en la banda de frecuencias bajas.

Se llama refuerzo del par de arranque al incremento de la tensión a bajas velocidades (fig. 40).

Generalmente se puede programar entre 0 y 25% de la tensión nominal a muy bajas frecuencias.

Existen dos maneras principales de programar este refuerzo:

- Refuerzo dependiente de la carga o dinámico.
- Refuerzo fijo o estático.

La selección de una manera u otra se realiza con un conmutador en los convertidores analógicos.

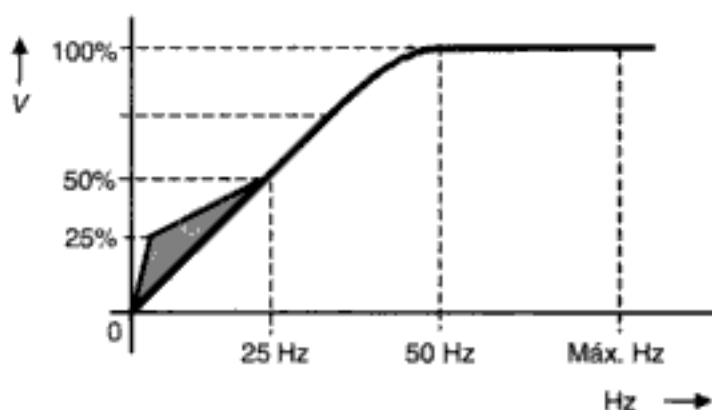


Figura 40. Curva de refuerzo del par de arranque.

Refuerzo dependiente de la carga

La tensión del motor se eleva desde 0% con el motor funcionando en vacío, hasta el valor programado del refuerzo del par de arranque como máximo; esto cuando funciona el motor a plena carga, es decir, trabajando el motor en vacío la tensión se mantiene a su valor mínimo, y se incrementará automáticamente, si se necesita, dependiendo de la carga.

La principal aplicación de este parámetro son los accionamientos simples.

Refuerzo fijo o estático

El incremento programado con el parámetro de refuerzo del par de arranque se mantiene fijo cualquiera que sea la carga.

La aplicación típica de este refuerzo es el accionamiento de varios motores con un solo convertidor de frecuencia.

Compensación del deslizamiento

Deslizamiento, como ya se explicó anteriormente, es la diferencia que existe entre la velocidad síncrona y la velocidad real del rotor.

Un motor reduce su velocidad, ligeramente, si la carga mecánica acoplada a su eje es muy grande; es decir, existirá una diferencia de velocidad entre la frecuencia que le llega, procedente del convertidor, y la frecuencia a la que realmente está girando debido a la carga. Esta diferencia, que se podría denominar deslizamiento, se puede compensar con el parámetro compensación del deslizamiento, que la mayoría de los convertidores incorporan.

Esta caída de velocidad se puede reducir si, al aumentar la carga, se incrementa su frecuencia (sus revoluciones).

Si la corriente nominal del motor es la misma que la corriente que proporciona el convertidor, éste suma a la frecuencia de salida la frecuencia de compensación que realmente precise para suplir el valor del deslizamiento del motor, por lo que éste girará a la misma frecuencia proporcionada por el convertidor.

El máximo aumento de la frecuencia, programado con el parámetro de compensación del deslizamiento, se consigue cuando el motor esté funcionando a plena carga; este parámetro se toma de la intensidad permanente.

Resonancia

Para evitar que la máquina acoplada al convertidor entre en resonancia a unas determinadas frecuencias, se pueden anular éstas y hacer que el con-

vertidor las salte; esto origina una banda muerta en la que se estabiliza la frecuencia de salida hasta que sobrepasa la de resonancia y se eleva a una frecuencia superior, continuando con la rampa de aceleración hasta llegar a la frecuencia máxima programada (fig. 41).



Figura 41. Salto de frecuencia para evitar la resonancia en la máquina.

Punto de inflexión de la frecuencia

Se llama punto de inflexión de la frecuencia, en los convertidores analógicos, al punto donde alcanza el motor la tensión máxima.

Uno de los puntos más importantes que determina la característica de par del accionamiento es la característica V/f , tensión/frecuencia.

Esta característica está determinada por:

- La tensión máxima.
- La frecuencia máxima.
- El punto de inflexión de frecuencia.

La tensión máxima que alcanza un convertidor es igual a la tensión de red, no pudiendo superar este valor. Sin embargo, el valor de la frecuencia máxima del convertidor con el parámetro de *punto de inflexión de la frecuencia* sí puede superar los 50 Hz de la red.

Para programar la característica V/f se debe tener en cuenta:

- La frecuencia máxima requerida.
- La frecuencia nominal del motor.
- La tensión nominal del motor.

La característica V/f se debe adaptar al motor empleado en función del trabajo que realice éste.

Curvas tensión/frecuencia

Los convertidores digitales disponen de serie de unas curvas características tipo; asimismo, permiten modificar estas curvas o incluso construirlas en función de la necesidad específica de la aplicación.

Los datos a introducir, cuando se pretende construir una curva específica de tensión/frecuencia son:

- Tensión mínima
- Tensión media
- Tensión máxima
- Frecuencia mínima
- Frecuencia media
- Frecuencia máxima

Se debe tener en cuenta al introducir los valores mínimos de tensión y de frecuencia los mínimos permitidos por el fabricante, indicados en las instrucciones del convertidor.

El valor de tensión máxima dependerá de la tensión de alimentación del convertidor.

Una curva característica de un convertidor es aquella en que la tensión aumenta de manera proporcional a la frecuencia, hasta alcanzar el punto tensión/frecuencia máximo; en el ejemplo de la figura 42, se tiene un motor de 10 CV-380 V-50 Hz, lo cual quiere decir que desarrolla esa potencia cuando se le suministra un valor de 380 V y 50 Hz.

Ahora bien, si se pretendiera que desarrollase dicha potencia a una frecuencia más baja, se le tendría que incrementar el valor de la tensión pero sin modificar la frecuencia (fig. 43).

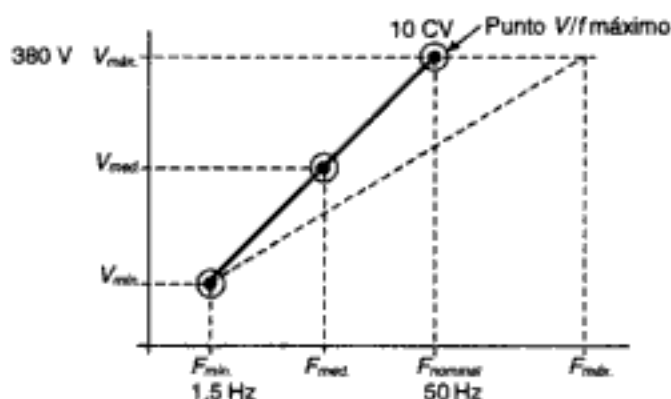


Figura 42. Curva tensión/frecuencia de un motor de 10 CV a 380V-50 Hz.

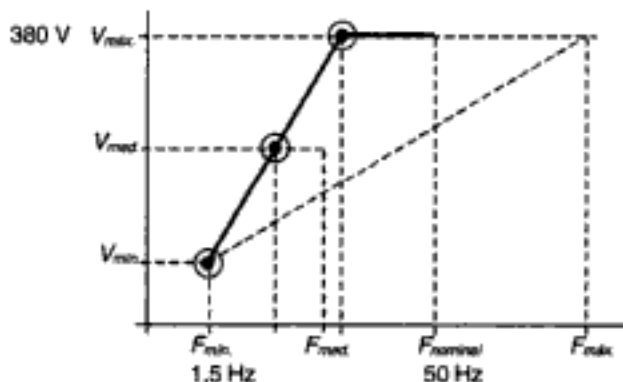


Figura 43. Curva tensión/frecuencia desarrollando la misma potencia que la figura anterior pero a una frecuencia más baja.

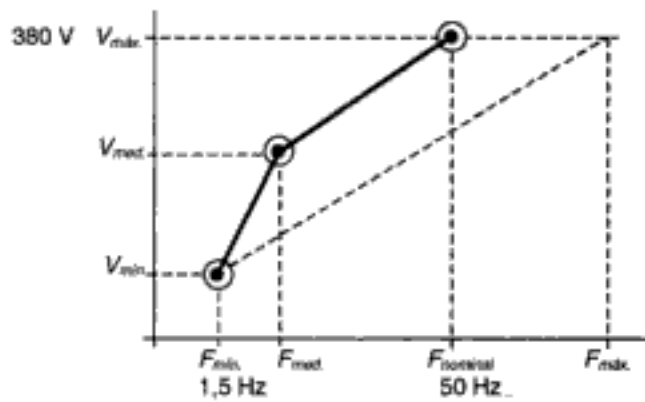


Figura 44. Curva tensión/frecuencia incrementando el valor de la tensión en un punto determinado; posteriormente sigue aumentando hasta llegar a la frecuencia nominal.

Asimismo, se puede incrementar el valor de la tensión en un punto determinado de la curva y luego proseguir su valor ascendente hasta alcanzar el punto de tensión/frecuencia máxima (fig. 44).

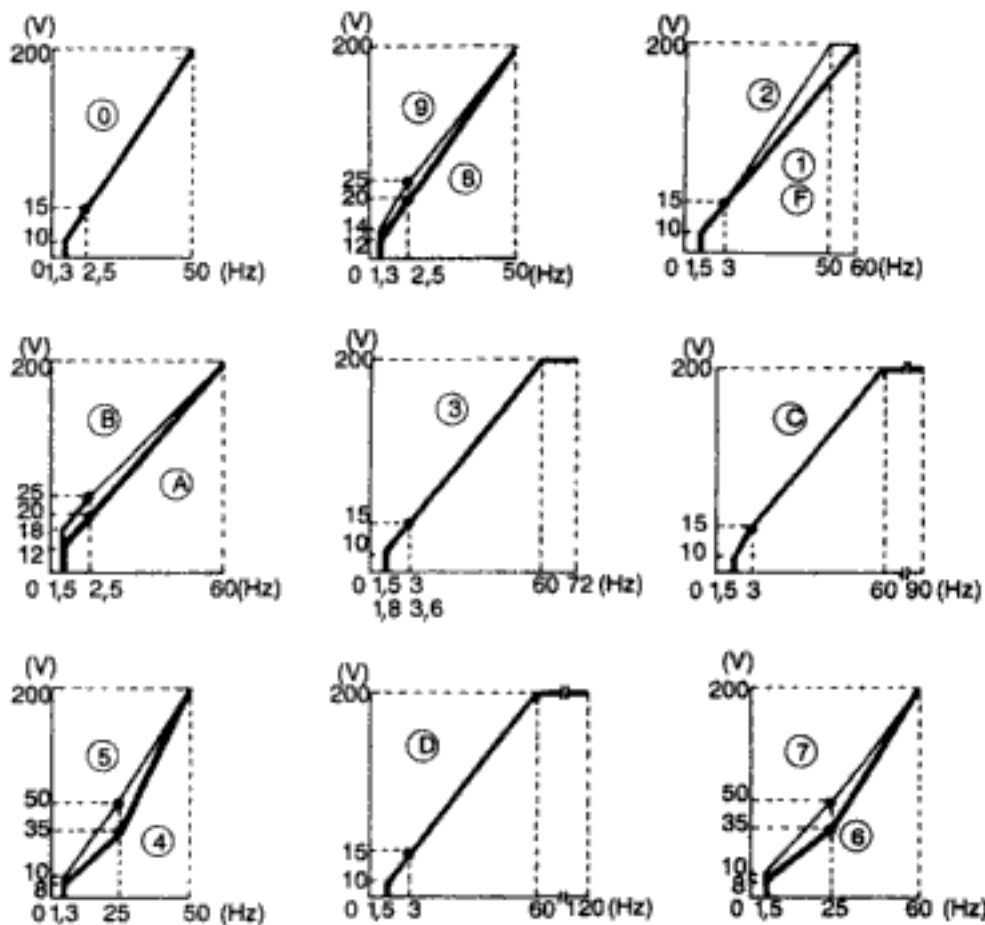


Figura 45. Curvas tipo preseleccionadas en el convertidor 3G3HV. (Cortesía Omron Electronics.)

La curva tensión/frecuencia se puede construir a medida configurando los valores de tensión y frecuencia adecuados a la aplicación concreta que se va a realizar; ahora bien, definir estos valores no es tarea fácil; en cualquier convertidor, no siempre se disponen de elementos que lo definan de manera clara, por lo que la mayoría de fabricantes de convertidores dispone unas curvas tipo, preseleccionadas, para que el usuario pueda decidir, en función de la aplicación concreta, la que más se adapta a sus necesidades (fig. 45).

Estas curvas características tipo las definen los fabricantes en función de la experiencia de las necesidades demandadas en la mayoría de las aplicaciones; no obstante, se puede decidir una curva tipo determinada y realizar ligeras modificaciones para conseguir una adaptación más real a la necesidad específica de la aplicación.

Curva S, características de aceleración y desaceleración

Programar esta curva en el convertidor permite, en la máquina accionada, reducir los pasos bruscos de una frecuencia a otra, esto es, suaviza el arranque del motor desde el punto 0 a la frecuencia máxima programada (fig. 46).

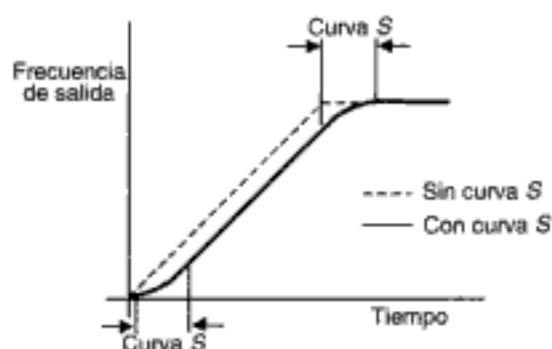


Figura 46. Comparación entre la curva S y una curva estándar. (Cortesía Omron Electronics.)

Variación de la frecuencia y de la tensión simultáneamente

Si la tensión y la frecuencia se modifican de manera aproximadamente proporcional, no se modifican las condiciones magnéticas del motor y, por tanto, el par es el mismo en cualquier punto de la curva.

Compensación automática del par

Cuando en un motor el par es independiente de la velocidad y la carga no varía con ésta, se dice que trabaja a par constante (fig. 47).

La curva tensión/frecuencia (V/f) es proporcional en cualquier variador, lo que significa que a un determinado valor de frecuencia proporcionada le corresponde un valor determinado de tensión.

Como quiera que el par motor necesario varía en función de la carga, a veces es necesario un aumento de la tensión debiendo permanecer el valor de la frecuencia en el mismo punto.

Por ello, los convertidores que incorporan el parámetro de compensación del par ajustan, de manera automática, la tensión en función del par necesario en cada momento, no sólo en el periodo de aceleración sino también cuando proporcionan una frecuencia constante.

Este sistema es ideal para conseguir el ahorro energético, ya que proporciona en cada momento la curva V/f que precisa el motor en función de la carga.

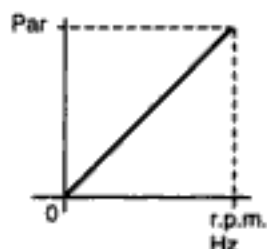


Figura 47. Curva de un motor trabajando a par constante.

Control vectorial

El control vectorial regula, de una manera independiente, la corriente del flujo magnético y la corriente del par.

Este control permite una velocidad suave y gran par, a la vez que se obtiene una gran precisión de velocidad y par aunque la velocidad del motor sea excesivamente baja. Asimismo, se obtiene una respuesta inmediata de velocidad al variar la carga.

Existen varios modos de funcionamiento con control vectorial:

- Control vectorial sin sensor de realimentación, pudiéndose conseguir el 150% del par desde 1,5 Hz.
- Control vectorial con sensor de realimentación, consiguiéndose el 150% del par desde velocidad cero (0 Hz) (fig. 48).
- Control tensión/frecuencia con sensor de realimentación y tarjeta opcional electrónica, diseñada específicamente para esta aplicación, acoplada en el interior del convertidor; con este sistema se obtiene una respuesta muy precisa en el control de la velocidad (fig. 49).

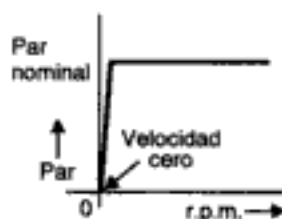


Figura 48. Curva de control vectorial utilizando un sensor de realimentación.

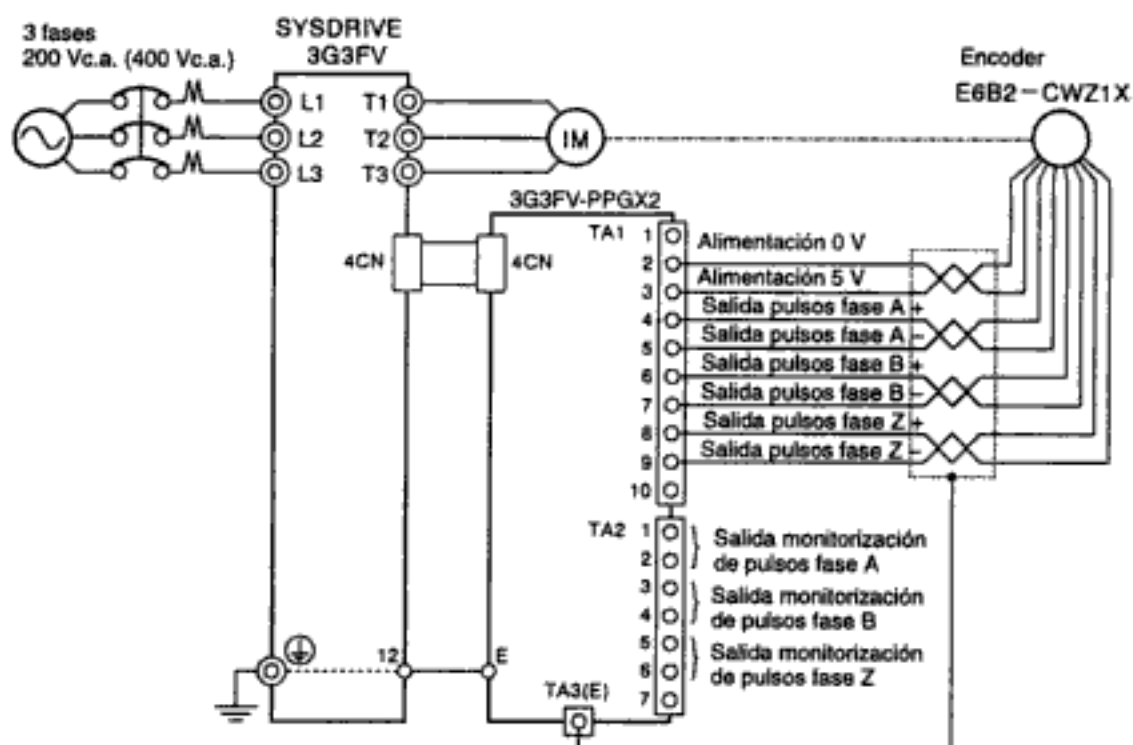


Figura 49. Conexiones de convertidor de frecuencia con control vectorial con realimentación por encoder, utilizando tarjeta de control de velocidad. (Cortesía Omron Electronics.)

Control PID

El control PID (Proporcional, Integrada y Derivada) en convertidores de frecuencia, es un método de control que varía la frecuencia de salida del convertidor hasta hacer coincidir el valor de la realimentación, procedente del sensor, con el valor preseleccionado por el usuario.

El sensor, para el control PID en los convertidores de frecuencia, suele ser un encoder acoplado al eje del motor a controlar.

Es evidente que el PID puede adoptar una amplia gama de control, dependiendo de las señales que detecte el sensor.

Los controles más usuales utilizados en convertidores de frecuencia son:

- Control de velocidad.
- Control de presión.
- Control de caudal.
- Control de temperatura.

El sensor utilizado en la realimentación suele ser un encoder.

Como complemento a los principales parámetros que el usuario puede configurar, se dan a continuación las distintas opciones de que disponen los convertidores de las series EV y HV de la firma Omron Electronics.

N.º de constante	Indicador	Descripción	Margen de selección	Selección inicial
n01		Inhibir escritura de constante/inicialización de constante	0, 1, 8, 9	1
n02	MODE	Selección de modo de operación	0 a 5	0
n03		Selección de modo de interrupción	0, 1	0
n04	F / R	Selección de marcha directa/inversa	Directa, inversa	Directa
n05		Selección de inhibir marcha inversa	0, 1	0
n06		Selección de entrada multifunción 1 (S1)	0 a 14	1
n07		Selección de entrada multifunción 2 (S2)	0 a 14	2
n08		Selección de entrada multifunción 3 (S3)	0 a 15	4
n09		Selección de salida multifunción 1 (MA y MB)	0 a 10	1
n10		Selección de salida multifunción 2 (PA)	0 a 10	0
n11	FREF	Referencia de frecuencia 1	0,0 a 400	6,0 (Hz)
n12	FREF	Referencia de frecuencia 2	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n13	FREF	Referencia de frecuencia 3	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n14	FREF	Referencia de frecuencia 4	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n15	FREF	Referencia de frecuencia 5	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n16	FREF	Referencia de frecuencia 6	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n17	FREF	Referencia de frecuencia 7	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n18	FREF	Referencia de frecuencia 8	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n19	FREF	Comando de frecuencia inching	0,0 a 400	6,0 (Hz)
n20	ACC	Tiempo de aceleración 1	0,0 a 999	10,0 (s)
n21	DEC	Tiempo de desaceleración 1	0,0 a 999	10,0 (s)
n22	ACC	Tiempo de aceleración 2	0,0 a 999	10,0 (s)
n23	DEC	Tiempo de desaceleración 2	0,0 a 999	10,0 (s)
n24	FMAX	Frecuencia máxima	50,0 a 400	60,0 (Hz)
n25	VMAX	Tensión máxima	1 a 255	200 (V)
n26	FBAS	Frecuencia de tensión máxima	1,6 a 400	60,0 (Hz)
n27		Frecuencia de salida intermedia	0,5 a 399	1,5 (Hz)
n28		Tensión de frecuencia de salida intermedia	1 a 255	12 (V)
n29		Frecuencia de salida mínima	0,5 a 10,0	1,5 (Hz)
n30		Tensión de frecuencia de salida mínima	1 a 50	12 (V)
n31	THR	Corriente de referencia termoelectrónica	0,0	

N.º de constante	Indicador	Descripción	Margen de selección	Selección inicial
n32		Protección termoelectrónica	1 a 4	0
n33		Prevención de bloqueo durante la desaceleración	0, 1	0
n34		Nivel de prevención de bloqueo durante la aceleración	30 a 200	170 (%)
n35		Nivel de prevención de bloqueo durante la marcha	30 a 200	160 (%)
n36		Funcionamiento tras la recuperación de corte de la alimentación	0, 1, 2	0
n37		Frecuencia portadora	1, 2, 3, 4	4
n38		Ganancia de mejora automática de par	0,0 a 3,0	1,0
n39		Ganancia de referencia de frecuencia	0,10 a 2,00	1,00
n39 (versión ModBus)		Unidades para referencia de frecuencia	0 a 3	1
n40		Desviación de referencia de frecuencia	-99 a 99	0 (%)
n40 (versión ModBus)		Detección de comunicaciones interrumpidas	0, 1	1
n41		Límite superior de referencia de frecuencia	0 a 110	100 (%)
n42		Límite superior de referencia de frecuencia	0 a 110	100 (%)
n43		Terminal de entrada de referencia de frecuencia	0, 1	0
n44		Salida analógica multifunción	0,1	0
n45		Ganancia de salida analógica multifunción	0,00 a 2,00	0,30
n46		Control por inyección de c.c.	0 a 100	50 (%)
n47		Tiempo de inyección de c.c. a la parada	0,0 a 5,0	0,5 (s)
n48		Tiempo de inyección de c.c. al arranque	0,0 a 5,0	0,0 (s)
n49		Características de aceleración y desaceleración de curva S	0 a 3	0
n50		Detección de sobrepas	0 a 4	0
n51		Nivel de detección de sobrepas	30 a 200	160 (%)
n52		Tiempo de detección de sobrepas	0,1 a 10,0	0,1 (s)
n53		Nivel de detección de frecuencia	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n54		Ganancia de compensación de deslizamiento	0,0 a 9,9	0,0 (%)
n55		Corriente de motor en vacío	0 a 99	40 (%)
n56		Salto de frecuencia 1	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n57		Salto de frecuencia 2	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n58		Salto de frecuencia 3	0,0 a 400	0,0 (Hz)
n59		Anchura del salto	0,0 a 25,5	1,0 (Hz)
n60		Número de reintentos de fallo	0 a 10	0 (veces)
n63 (versión ModBus)		Velocidad de comunicación	0 a 3	2
n64 (versión ModBus)		Selección de paridad	0 a 2	2
n67 (versión ModBus)		Número de unidad (versión Sysmac Bus) Dirección de esclavo (versión ModBus)	0 a 15 1 - 31	0 1
n68		Histórico de errores	(Sólo visualización)	
n69		Número de PROM (referencia de fabricante)	(Sólo visualización)	

Número	Función	Descripción	Selección inicial
n001	Password	0 : Lectura/selección de n001, sólo lectura de n002 a n108 1 : Lectura/selección de n001 a n034, sólo lectura de n035 a n108 2 : Lectura/selección de n001 a n049, sólo lectura de n050 a n108 3 : Lectura/selección de n001 a n108 4 : No utilizado 5 : No utilizado 6 : Inicialización–reset de 2 hilos (normativa japonesa) 7 : Inicialización–reset de 3 hilos (normativa japonesa) 8 : Inicialización–reset de 2 hilos (especificaciones U.S.) 9 : Inicialización–reset de 3 hilos (especificaciones U.S.)	1
n002	Selección de modo de operación	(Selección) (Operación) (Referencia) 0 : Operador Operador 1 : Terminal Operador 2 : Operador Terminal 3 : Terminal Terminal 4 : Operador Comunicación serie 5 : Terminal Comunicación serie 6 : Comunicación serie Comunicación serie 7 : Comunicación serie Operador 8 : Comunicación serie Terminal	3
n003	Tensión de entrada	Unidad : 0,1 V Margen selección : 150,0 a 255,0 V (510 V para modelos de 400 V)	200,0 V (400,0 V)
n004	Selección de método de parada	0: Desaceleración a la parada 1: Motor libre a la parada 2: Motor libre a la parada con temporizador (ciclo comando Run) 3: Motor libre a la parada con temporizador (regular)	0
n005	Sentido de giro	0: CCW (antihorario) 1: CW (horario)	0
n006	Prohibir marcha inversa	0: Marcha inversa habilitada 1: Marcha inversa inhibida	0
n007	Función de tecla local/remota	0: Inhibida 1: Habilidadada	1
n008	Función de tecla stop	0: Tecla stop efectiva desde operador digital 1: Tecla stop siempre efectiva	1
n009	Método de selección de referencia de frecuencia desde operador digital	0: Tecla Enter no utilizada 1: Tecla Enter utilizada	1
n010	Selección de curva V/f (igual que LED V/f)	0 a E: 15 curvas V/f preseleccionadas F : Curva V/f a medida con límite de tensión FF : Curva V/f a medida sin límite de tensión	1
n011	Tensión nominal del motor (igual que LED V/mtr)	Unidad : 0,1 V Margen selección : 150,0 a 255,0 V (510 V para modelos de 400 V)	200,0 V
n012	Frecuencia de salida máxima	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 50,0 a 400,0 Hz	60,0 Hz
n013	Tensión máxima	Unidad : 0,1 V Margen selección : 0,1 a 255,0 V (510 V para modelos de 400 V)	200,0 V
n014	Frecuencia de salida de tensión máxima	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,2 a 400,0 Hz	60,0 Hz
n015	Frecuencia de salida media	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,1 a 399,9 Hz	3,0 Hz
n016	Tensión de frecuencia media	Unidad : 0,1 V Margen selección : 0,1 a 255,0 V (510 V para modelos de 400 V)	15,0 V
n017	Frecuencia de salida mínima	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,1 a 10,0 Hz	1,5 Hz
n018	Tensión de frecuencia de salida mínima	Unidad : 0,1 V Margen selección : 0,1 a 50,0 V	10,0 V
n019	Tiempo de aceleración 1 (igual que LED Accel)	Unidad : 0,1 s (1 s para 1.000 s y superior) Margen selección : 0,0 a 3.600 s	10,0 s
n020	Tiempo de desaceleración 1 (igual que LED Decel)	Unidad : 0,1 s (1 s para 1.000 s y superior) Margen selección : 0,0 a 3.600 s	10,0 s
n021	Tiempo de aceleración 2	Unidad : 0,1 s (1 s para 1.000 s y superior) Margen selección : 0,0 a 3.600 s	10,0 s
n022	Tiempo de desaceleración 2	Unidad : 0,1 s (1 s para 1.000 s y superior) Margen selección : 0,0 a 3.600 s	10,0 s

Número	Función	Descripción	Selección Inicial
n023	Selección de curva S	(Selección) : (Tiempo de curva S) 0 : Curva S no disponible 1 : 0,2 s 2 : 0,5 s 3 : 1,0 s	1
n024	Modo de visualización	(Selección) : (Unidad) 0 : 0,1 Hz 1 : 0,1% 2 a 39 : r/min (entrada número de polos del motor) 40 a 3.999 : A medida	0
n025	Referencia de frecuencia 1 (igual que LED Fref)	La selección depende del valor de n024 Margen : 0 a 9.999	0,0 Hz
n026	Referencia de frecuencia 2	La selección depende del valor de n024 Margen : 0 a 9.999	0,0 Hz
n027	Referencia de frecuencia 3	La selección depende del valor de n024 Margen : 0 a 9.999	0,0 Hz
n028	Referencia de frecuencia 4	La selección depende del valor de n024 Margen : 0 a 9.999	0,0 Hz
n029	Frecuencia Jog	La selección depende del valor de n024 Margen : 0 a 9.999	6,0 Hz
n030	Límite superior de referencia de frecuencia	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	100%
n031	Límite inferior de referencia de frecuencia	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	0%
n032	Corriente nominal del motor (igual que LED FLA)	Unidad : 0,1 A Margen : 10 a 200% de la corriente nominal del convertidor La unidad es 1 A, para selecciones superiores a 1.000 A	Depende de kVA
n033	Selección de protección de sobrecarga del motor (OL1)	(Selección) : (Características) 0 : Sin protección 1 : Motor estándar (constante de tiempo 8 min) 2 : Motor estándar (constante de tiempo 5 min) 3 : Motor convertidor (constante de tiempo 8 min) 4 : Motor convertidor (constante de tiempo 5 min)	1
n034	Selección de método de parada (OH1)	(Selección) : (Método de parada) 0 : Rampa a la parada - Desaceleración 1 (fallo) 1 : Motor libre a la parada (fallo) 2 : Rampa a la parada - Desaceleración 2 (fallo) 3 : Continuar operación (alarma)	3
n035	Selección de entrada de contacto multifunción (terminal S2)	0 : Comando de marcha inversa (secuencia de 2 hilos) 1 : Comando de marcha directa/inversa (secuencia de 3 hilos) 2 : Fallo externo (entrada de contacto NA) 3 : Fallo externo (entrada de contacto NC) 4 : Reset de fallo 5 : Selección de LOCAL/REMOTO 6 : Selección de circuito de comunicación serie/control 7 : Parada rápida 8 : Selección de nivel de entrada de referencia de frecuencia maestra 9 : Referencia de multivelocidad 1 10 : Referencia de multivelocidad 2 11 : Selección de frecuencia Jog 12 : Selección de tiempo de aceleración/desaceleración 13 : Bloqueo externo (entrada de contacto NA) 14 : Bloqueo externo (entrada de contacto NC) 15 : Comando buscar desde frecuencia máxima 16 : Comando buscar desde frecuencia seleccionada 17 : Habilitar/inhibir selección de constante 18 : Reset de valor integral de PID 19 : Inhibido control PID 20 : Función de temporizador 21 : OH3 (alarma de sobrecalentamiento del convertidor) 22 : Muestrear/retener referencia analógica	0
n036	Selección de entrada de contacto multifunción (terminal S3)	Igual que n035	2
n037	Selección de entrada de contacto multifunción (terminal S4)	Igual que n035	4
n038	Selección de entrada de contacto multifunción (terminal S5)	Igual que n035	9
n039	Selección de entrada de contacto multifunción (terminal S6)	Igual que n035 25 : Comando UP/DOWN 26 : Test de lazo (Modbus)	10

Número	Función	Descripción	Selección Inicial
n040	Selección de salida de contacto multifunción (terminal MA-MB-MC)	0 : Fallo 1 : Durante la marcha 2 : Velocidad alcanzada 3 : Frecuencia deseada alcanzada 4 : Detección de frecuencia 1 5 : Detección de frecuencia 2 6 : Detección de sobrepasar (contacto NA) 7 : Detección de sobrepasar (contacto NC) 8 : Durante el bloqueo externo 9 : Modo de operación 10 : Convertidor preparado para operación 11 : Función de temporizador 12 : Durante el rearmado automático 13 : OL prealarma 14 : Pérdida de referencia de frecuencia 15 : Salida de comunicaciones serie (función DO) 16 : Pérdida de realimentación de PID 17 : OHI alarma	0
n041	Selección de salida de contacto multifunción (terminal M1-M2)	Igual que n040	1
n042	Selección de entrada analógica maestra (terminal FV o FI)	0 : Entrada de 0 a 10 V (FV) 1 : Entrada de 4 a 20 mA (FI)	0
n043	Selección de entrada analógica auxiliar (terminal FI)	0 : Entrada de 0 a 10 V (FV) (se debe cortar el puente) 1 : Entrada de 4 a 20 mA (FI)	1
n044	Retención de referencia de frecuencia	0 : No retener 1 : Mantener referencia retenida en referencia de frecuencia 1 (constante n025)	0
n045	Método de operación para detección de pérdida de referencia de frecuencia	0 : No detectar 1 : Continuar al 80% del valor anterior a la pérdida de referencia	0
n046	Ganancia de referencia de frecuencia (igual que LED Fgain)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 200%	100%
n047	Desviación de referencia de frecuencia (igual que LED Fbias)	Unidad : 1% Margen selección : -100-100%	0%
n048	Salida analógica multifunción (AM-AC)	(Selección) (Monitorizar) 0 : Frecuencia de salida 1 : Corriente de salida 2 : Potencia de salida 3 : Tensión de bus de c.c.	0
n049	Ganancia de monitorización analógica	Unidad : 0,01 Margen selección : 0,01 a 2,00	1
n050	Frecuencia de portadora	Unidad : 1 Margen selección : 1 a 6 ($\times 2,5$ kHz), 7 a 9 (modelo a medida)	Depende de kVA
n051	Método de operación de corte momentáneo de alimentación	(Selección) (Método) 0 : No disponible 1 : Continuar operación después de recuperar la alimentación en 2 s máx. 2 : Continuar operación después de recuperar la alimentación en el tiempo de control lógico (no salida de fallo)	0
n052	Nivel de buscar velocidad (tiempo de desaceleración fijo a 2 s)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 200% 100% = corriente nominal del convertidor	150%
n053	Tiempo de bloqueo mínimo	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,5 a 5,0 s	Depende de kVA
n054	Nivel de reducción de <i>V/f</i> durante buscar velocidad	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	Depende de kVA
n055	Tiempo de continuar operación de corte de alimentación	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 2,0 s	Depende de kVA
n056	Intentos de rearmado automático	Unidad : 1 vez Margen selección : 0 a 10	0
n057	Selección de contacto de fallo durante reinicio automático	0 : Cerrado durante reinicio de fallo 1 : Abierto durante reinicio de fallo	1
n058	Saltar frecuencia 1	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,0 a 400,0 Hz	0,0 Hz
n059	Saltar frecuencia 2	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,0 a 400,0 Hz	0,0 Hz
n060	Saltar margen de frecuencia	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,0 a 400,0 Hz	1,0 Hz

Número	Función	Descripción	Selección Inicial
n061	Selección de temporizador	0 : Tiempo acumulado durante la alimentación ON 1 : Tiempo acumulado durante la marcha	1
n062	Temporizador 1	Unidad : 1 hora Margen : 0 a 9.999	0
n063	Temporizador 2	Unidad : 10.000 horas Margen : 0 a 27	0
n064	Corriente de freno por inyección de c.c.	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100% 100% = corriente nominal del convertidor	50%
n065	Tiempo de freno por inyección de c.c. a la parada	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 10,0 s	0,5 s
n066	Tiempo de freno por inyección de c.c. al arranque	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 10,0 s	0,0 s
n067	Ganancia de compensación de par	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 3,0 s	1,0
n068	Resistencia línea a línea del motor	Unidad : 0,001 W Margen selección : 0,000 a 65,53 s	Depende de kVA
n069	Pérdidas en el hierro	Unidad : 0 W Margen selección : 0 a 9.999 W	Depende de kVA
n070	Prevención de bloqueo durante la desaceleración	0 : Inhibida 1 : Habilitada	1
n071	Nivel de prevención de bloqueo durante la desaceleración	Unidad : 1% Margen selección : 30 a 200% Cuando el nivel se selecciona a 200%, se inhibe la prevención de bloqueo durante la aceleración	170%
n072	Nivel de prevención de bloqueo durante la marcha	Unidad : 1% Margen selección : 30 a 200% Cuando el nivel se selecciona a 200%, se inhibe la prevención de bloqueo durante la marcha	160%
n073	Detección de frecuencia (salida de contacto multifunción)	Unidad : 0,1 Hz Margen selección : 0,0 a 400,0 Hz	0,0 Hz
n074	Selección de función de detección de sobrepar (OL3)	(Selección) (Función) 0 : Detección inhibida 1 : Detectado durante la marcha a velocidad constante y continuar la operación después de la detección 2 : Detectado durante la marcha y continuar la operación después de la detección 3 : Detectado durante la marcha a velocidad constante y la salida del convertidor se pone a OFF durante la detección 4 : Detectado durante la marcha y la salida del convertidor se pone a OFF durante la detección	0
n075	Nivel de detección de sobrepar (OL3)	Unidad : 1% Margen selección : 30 a 200% 100% = corriente nominal del convertidor	16 0%
n076	Tiempo de detección de sobrepar (OL3)	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 10,0 s	0,1 s
n077	Temporizador de retardo a ON	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 25,5 s	0,0 s
n078	Temporizador de retardo a OFF	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 25,5 s	0,0 s
n079	Función de protección de la resistencia DB	0 : Desactivada 1 : Activada	0
n080	Nivel de detección de pérdida de fase de entrada (SPI)	Unidad : 1% Margen selección : 1 a 100% Para selección 100%, esta función está inhibida	7%
n081	Tiempo de retardo de detección de pérdida de fase de entrada (SPI)	Unidad : 1 (1,28 s) Margen selección : 2 a 255 (2,56 a 326,4 s)	(10,24 s)
n082	Nivel de detección de pérdida de fase de salida (SPO)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	0%
n083	Tiempo de retardo de detección de pérdida de fase de salida (SPI)	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 2,0 s	0,2 s
n084	Selección de PID (igual que LED PID)	0 : PID inhibida 1 : PID habilitada (desviación control D) 2 : PID con realimentación positiva (valor de realimentación control D)	0

Número	Función	Descripción	Selección Inicial
n085	Ganancia de calibración de realimentación (PID)	Unidad : 0,01 Margen selección : 0,00 a 10,00	1,00
n086	Ganancia proporcional (PID)	Unidad : 0,1 Margen selección : 0,0 a 10,0	1,0
n087	Tiempo de integral (PID)	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 100,0 s	10,0 s
n088	Tiempo de derivada (PID)	Unidad : 0,01 s Margen selección : 0,00 a 1,00 s	0,00 s
n089	Offset (PID)	Unidad : 1% Margen selección : -100 a 100%	0%
n090	Límite de valor de integral (PID)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	100%
n091	Tiempo de filtro de salida (PID)	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 2,5 s	0,0 s
n092	Detección de pérdida de realimentación (PID)	0 : Detección inhibida 1 : Detección habilitada	0
n093	Nivel de detección de pérdida de realimentación (PID)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	0%
n094	Tiempo de retardo de detección de pérdida de realimentación (PID)	Unidad : 0,1 s Margen selección : 0,0 a 25,5 s	1,0 s
n095	Selección de ahorro energético (igual que LED kWsav)	0 : Ahorro energético inhibido 1 : Ahorro energético habilitado	0
n096	Ganancia de ahorro energético K2	Unidad : 0,01 Margen selección : 0,00 a 655,0	Depende de kVA
n097	Límite inferior de tensión de ahorro energético a 60 Hz	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 120%	50%
n098	Límite inferior de tensión de ahorro energético a 6 Hz	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 25%	12%
n099	Tiempo de kW promedio (ahorro energético)	Unidad : 1 = 25 ms Margen selección : 1 a 200	1
n100	Límite de tensión de ajuste (ahorro energético)	Unidad : 1% Margen selección : 0 a 100%	0%
n101	Tensión de paso de ajuste a tensión de salida 100% (ahorro energético)	Unidad : 0,1% Margen selección : 0,1 a 10,0%	0,5%
n102	Tensión de paso de ajuste a tensión de salida 5% (ahorro energético)	Unidad : 0,1% Margen selección : 0,1 a 10,0%	0,2%
n103	Detección time over de Modbus	0 : Detección de time over inhibida 1 : Detección de time over habilitada	1
n104	Método de parar Modbus en error de comunicación (CE)	(Selección) (Método de parada) 0 : Rampa a la parada - Desaceleración 1 (fallo) 1 : Motor libre a la parada (fallo) 2 : Rampa a la parada - Desaceleración 2 (fallo) 3 : Continuar operación (alarma)	1
n105	Unidad de referencia de frecuencia de Modbus	(Selección) (Unidad de frecuencia) 0 : 0,1 Hz / 1 1 : 0,01 Hz / 1 2 : 100% / 30.000 3 : 0,1% / 1	0
n106	Dirección de esclavo de Modbus	Unidad : 1 Margen selección : 0 a 31	0
n107	Selección de BPS de Modbus	(Selección) (Relación BPS) 0 : 2.400 BPS 1 : 4.800 BPS 2 : 9.600 BPS	2
n108	Selección de paridad de Modbus	(Selección) (Relación BPS) 0 : Sin paridad 1 : Paridad par 2 : Paridad impar	1

4. Entradas

CONEXIONES DE POTENCIA DE ENTRADA

Estas conexiones son llamadas, generalmente, conexiones de red, y están marcadas como L1-L2-L3.

Se debe prestar especial atención a que coincida la tensión de red con la indicada en el convertidor que se va a conectar, monofásica o trifásica (figura 50).

Algunos convertidores admiten las dos conexiones, monofásica o trifásica; conectando cualquiera de las dos, el convertidor identificará la conexión y hará que funcione correctamente.

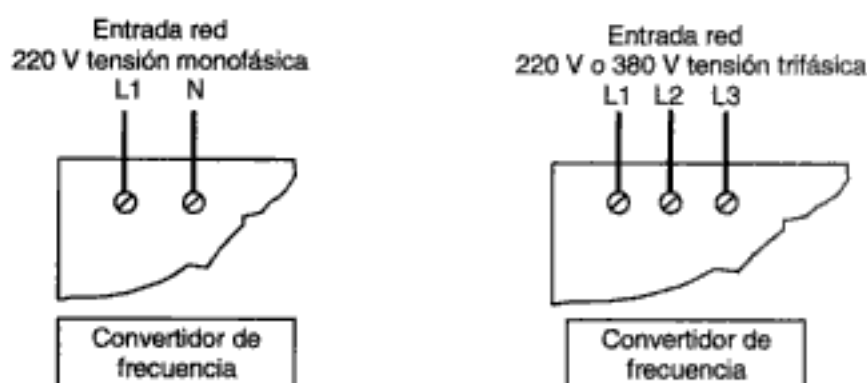


Figura 50. Conexiones de potencia de entrada, monofásica y trifásica.

CONEXIONES DE MANDO EN UN CONVERTIDOR ANALÓGICO

Las conexiones de mando difieren relativamente poco de un convertidor a otro, cualquiera que sea el fabricante, puesto que todos utilizan los mismos parámetros para maniobrar o controlar los motores.

Las conexiones de mando se deben encuadrar según la función que realizan; así, se pueden encontrar:

Conexiones de maniobra:

- Marcha con mantenimiento.
- Marcha sin mantenimiento (por impulsos).
- Parada.
- Giro izquierda.
- Giro derecha.
- Entradas multifunción.
- Entrada up/down.
- Entradas/salidas con función temporizador.

Conexiones de protección:

- Anomalías.
- Sondas térmicas.
- Generador incremental.
- Relé de salida:
 - Listo funcionamiento.
 - Fallo.
 - Fallo de red.
 - Otras.

Valores de referencia:

- Potenciómetro:
 - Preselección de frecuencia.
 - Preselección de par.
- Entrada analógica en tensión.
- Entrada analógica en corriente.

Visualizadores:

- Valor de la frecuencia de red.
- Valor de la carga real.
- Valor de las revoluciones por minuto reales.
- Valor de la intensidad real.
- Valor de la intensidad preseleccionada.

Fuente de tensión externa:

- 0-24 V c.c.

Marcha con mantenimiento

El convertidor analógico más básico en prestaciones dispone de tres bornes, uno común, que se conecta a otros dos a través de interruptores, pulsadores, etc.; uno de los bornes realiza la función de marcha/parada, según esté el borne con tensión (circuito cerrado) o sin tensión (circuito abierto).

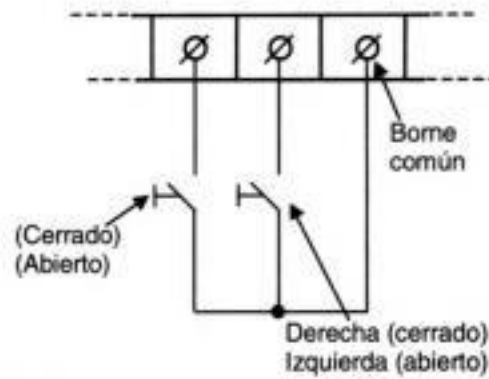


Figura 51. Bornes de conexión del circuito de control en un convertidor con prestaciones básicas.

El tercer borne selecciona el sentido de giro del motor, según esté este borne abierto o cerrado (fig. 51).

Otro sistema, también muy generalizado en los convertidores analógicos, es el que dispone de cuatro bornes, realizando la inversión con dos bornes, uno para el funcionamiento hacia la derecha y otro hacia la izquierda.

Este sistema lo emplea la firma Control Techniques en los convertidores de la serie Commander 1,2/230 (figs. 52 y 53).

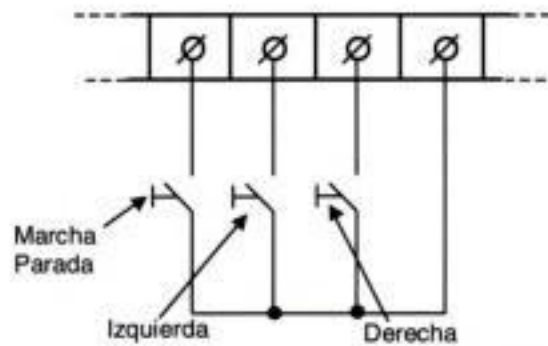


Figura 52. Convertidor con cuatro bornes en el circuito de maniobra, Commander 1,2/230. (Cortesía Control Techniques.)



Figura 53. Convertidores de frecuencia Commander. (Cortesía Control Techniques.)

CONEXIONES DE PROTECCIÓN

La mayoría de los convertidores analógicos disponen de conexión para distintos elementos de protección o seguridad, es decir, para desconectar el convertidor ante cualquier anomalía producida exteriormente.

El convertidor estará preparado para funcionar cuando el borne de conexión de elementos de protección esté a potencial cero; en caso contrario, se bloqueará y no funcionará señalizando en el display, o mediante unos LED, la señal de error; generalmente aparece "Et".

En el caso de no utilizar ninguna protección o seguridad exterior, resulta indispensable puentear el borne "0" con el de conexión de protección (figura 54).

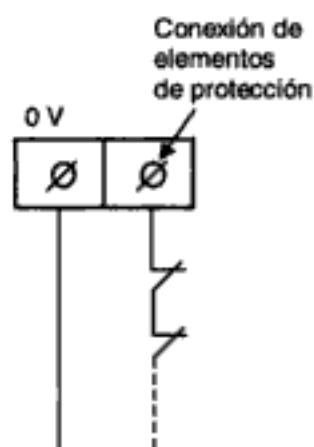


Figura 54. Borne de conexión de los elementos de protección.

Protección del motor

Los convertidores instalan interiormente un relé de sobrecarga termoeléctrica que protege al motor contra sobrecargas prolongadas, evitando así un calentamiento innecesario en los devanados del motor.

El funcionamiento es el siguiente. Este relé de sobrecarga, analiza la temperatura del motor en función del tiempo y de la intensidad de salida que proporciona el convertidor, inhibiendo la salida de éste cuando se sobrepase el valor configurado en dicho parámetro.

Esta opción es importantísima en aplicaciones en las que el motor utilizado es estándar y tiene que funcionar a bajas revoluciones durante un periodo de tiempo prolongado en el que sus devanados se calientan con grave peligro para su integridad.

En convertidores que utilicen un motor especial para el convertidor no es necesario esta opción, puesto que la refrigeración del motor está preparada para funcionar a revoluciones bajas.

Como casi todos los convertidores incorporan esta protección térmica, no es necesario instalar relé térmico externo para proteger el motor puesto que ya se protege activando esa opción en el convertidor.

En el supuesto de que se conecten varios motores a un mismo convertidor, se debe instalar un relé térmico externo a cada uno de los motores.

Sonda térmica

Cuando el motor incorpore sondas térmicas alojadas en sus devanados para vigilar su temperatura, se conectarán entre el borne común y el borne perteneciente a la sonda térmica (fig. 55).

Al calentarse el devanado, la sonda suprimirá el potencial "0" de su borne haciendo que el convertidor no suministre tensión de salida, señalizando además en el display una señal de error; en algunos modelos esta señal es "th".

En el supuesto de que el motor no incorpore sondas térmicas, caso también muy frecuente en motores de pequeñas potencias, se tendrán que puentear los bornes "0" con el borne de la sonda térmica.

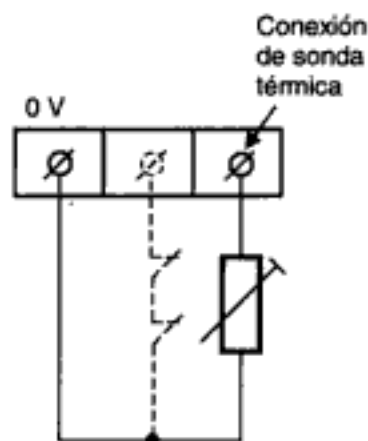


Figura 55. Conexión al convertidor de la sonda térmica.

Funciones de protección

Los convertidores digitales incorporan una serie de mensajes, visualizados automáticamente en el display, que indican la naturaleza de la alarma, al mismo tiempo el LED **ALARMA** se ilumina de manera intermitente.

Lógicamente, al eliminar la causa que provocó la alarma, desaparece el mensaje y el LED se apaga.

El texto de los mensajes difiere muy poco de un fabricante a otro; casi todos visualizan el mismo texto ante la misma anomalía.

Entre los distintos mensajes, los más normales son:

Tensión baja

Cuando la tensión desciende por debajo del nivel de detección configurado por el fabricante, se ilumina intermitentemente el LED **ALARMA** y aparece en el visualizador el mensaje **Uu** intermitente, indicando que la tensión de red es baja para funcionar correctamente el convertidor.

Al desconectar de la red de distribución el convertidor, es evidente que la tensión baja automáticamente a cero, por tanto, también se iluminará el LED **ALARMA** y en el visualizador aparecerá **Uu** intermitente. Pasado un tiempo en el que no se restablezca la tensión, desaparecerá totalmente todo y quedará sin tensión el convertidor.

Sobretensión

Asimismo, cuando la tensión toma un valor que excede del valor de detección, se ilumina el LED **ALARMA** y en el visualizador aparece **DU** (tensión alta).

Sobrecarga

Cuando la corriente que consume el motor sobrepasa el valor programado en el parámetro *detección de sobrecarga*, durante un tiempo, también mayor del programado en el parámetro *tiempo de sobrecarga*, se iluminará el LED **ALARMA** y en el visualizador aparecerá, de manera intermitente, el mensaje **oL3**.

Evidentemente, para eliminar este problema, se tendrá que revisar el motor y la máquina que accione.

Existen otras funciones como son sobrecalentamientos en el disipador de calor, señal de bloqueo externo, sobrecarga del motor, sobrecarga del convertidor, etc.

VALORES DE REFERENCIA

Los convertidores disponen de preselección del valor de referencia; es decir, permiten modificar el valor de éste y, por consiguiente, la velocidad del motor. Esto se puede conseguir de varias maneras:

Potenciómetro

Conectando un potenciómetro entre los bornes que indique el manual de instrucciones del convertidor; en cualquier caso, un terminal deberá estar conectado a potencial "0" y los otros a los bornes que indiquen *conexión de potenciómetro*.

Ahora bien, dependiendo de la manera de conectar el potenciómetro, se pueden conseguir dos objetivos distintos, como son:

Preselección de frecuencia

Se tiene que conectar como lo indica la figura 56, consiguiendo con ello la variación de velocidad del motor dentro del margen preseleccionado con los parámetros de frecuencia máxima y mínima.

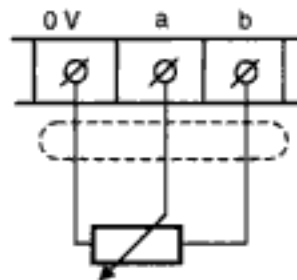


Figura 56. Circuito de conexión de potenciómetro al convertidor para obtener una preselección de frecuencia.

Preselección de par

Se conecta el potenciómetro de manera distinta, esto es, a otros bornes aunque el terminal común debe permanecer invariable, a potencial "0".

Realizando esta nueva conexión del potenciómetro, se tendrá que programar el convertidor preseleccionando el par.

El convertidor lleva montado interiormente un controlador de par, programable por el usuario, que compara el *par resistente real* con el *par resistente cedido* por este convertidor.

Si el par resistente real es menor que el par resistente cedido, el convertidor acelera hasta la frecuencia máxima, preajustada por el usuario.

Al alcanzar el par resistente preajustado por el usuario, se estabilizan la frecuencia y la tensión del motor (fig. 57).

Si la distancia desde el convertidor hasta donde se instale el potenciómetro es considerable, deberá usarse cable apantallado.

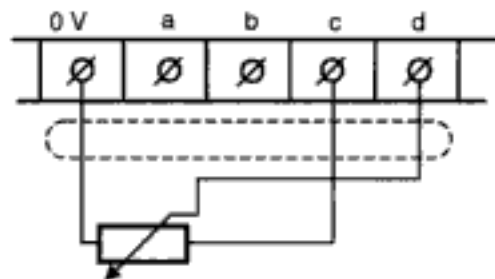


Figura 57. Circuito de conexión del potenciómetro para conseguir una preselección del par.

Hidden page

Hidden page

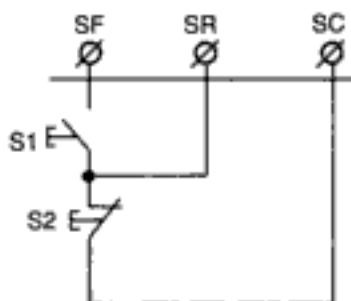


Figura 61. Esquema de la clásica función biestable (marcha-parada).

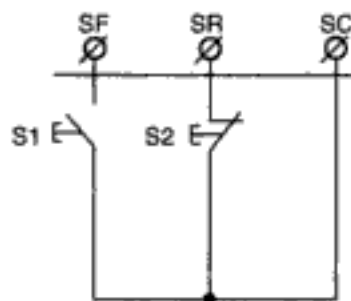


Figura 62. Otra opción de conexión de la función biestable.

El tiempo que tarde en alcanzar la velocidad máxima dependerá del valor que tenga introducido la rampa de aceleración.

Al dejar de pulsar, el motor seguirá girando.

Al accionar S2 (pulsador de parada, normalmente cerrado) el motor cesará en sus revoluciones y tardará en parar dependiendo del valor del parámetro de rampa de deceleración (fig. 63).



Figura 63. Diagrama de funcionamiento de la secuencia a tres hilos.

Como quiera que todos los convertidores, sean éstos analógicos o digitales, disponen de inversión de marcha en el circuito de control, se puede realizar la función biestable, secuencia a tres hilos, invirtiendo el sentido de giro sin necesidad de pasar por la función de paro, para ello bastará accionar la marcha directa; al abrir el interruptor el motor cambiará su sentido de giro sin pasar por paro (figs. 64 y 65).

Es evidente que se tienen que accionar los pulsadores S1 o S2 para poner en marcha o parar el motor, porque S3 sólo ordena invertir el sentido de giro, no poner en marcha.

Cuando la maniobra que tenga que realizar la máquina que acciona el motor contemple cierto peligro, los convertidores disponen de un parámetro que inhibe la marcha inversa, impidiendo con ello que el motor gire en los dos sentidos y permitiendo sólo un sentido de giro aun cerrando el pulsador conectado a S1; asimismo, inhibe el comando de inversión en la consola de programación.

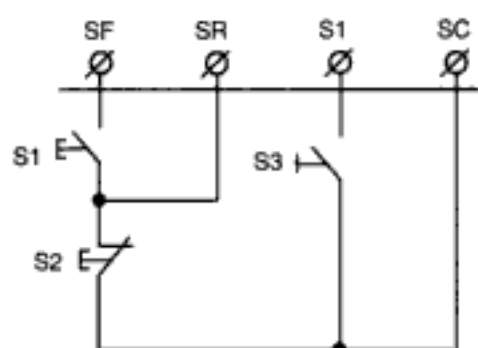


Figura 64. Esquema de conexión de la función biestable con inversión de marcha.

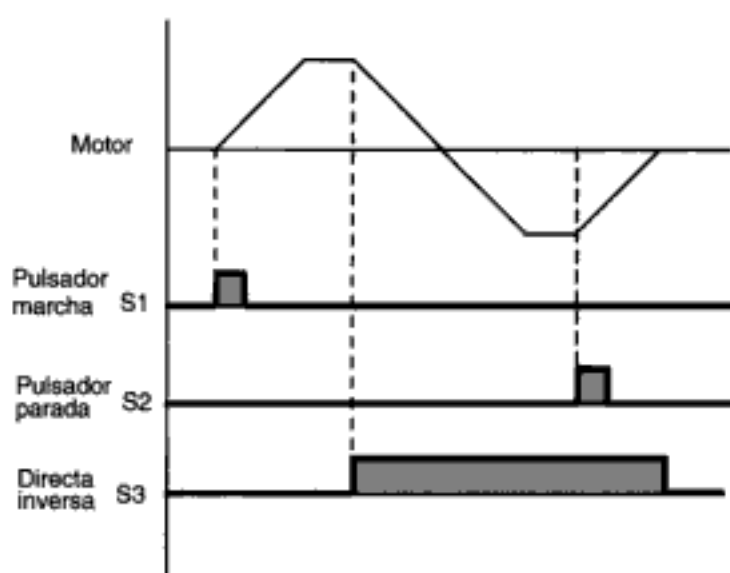


Figura 65. Diagrama de funcionamiento de la función biestable con inversión de marcha.

Entradas multifunción

A un convertidor con prestaciones básicas se le puede programar una sola velocidad con rampa de aceleración y rampa de desaceleración.

Conseguir varias velocidades en un convertidor con prestaciones básicas es relativamente fácil; basta disponer de varios potenciómetros, tantos como velocidades diferentes se quieran conseguir, conectarlos a otros tantos relés y excitar éstos en función de la velocidad deseada.

Cada potenciómetro se deberá desplazar a un valor adecuado de resistencia, de tal manera que la primera vez que se conecte se tendrá que realizar un tanteo hasta conseguir las velocidades que se precisan.

Ejemplo:

Se dispone de una máquina de corte que tiene instalado un convertidor con prestaciones básicas. Se pretende programar dos velocidades distintas,

una para cuando la máquina está cortando, por tanto el avance tiene que ser lento, y otra velocidad para cuando la máquina retrocede sin cortar, para ello debe girar a la máxima velocidad.

Se conectan dos potenciómetros a un relé auxiliar y éste se conecta al convertidor, a los bornes que corresponden al potenciómetro (fig. 66).

En reposo, los contactos están conectados al potenciómetro de velocidad lenta.

Como quiera que el relé se tiene que activar al retroceder la máquina, bastará excitar éste para que el convertidor obtenga la señal del potenciómetro ordenándole la máxima velocidad (fig. 67).

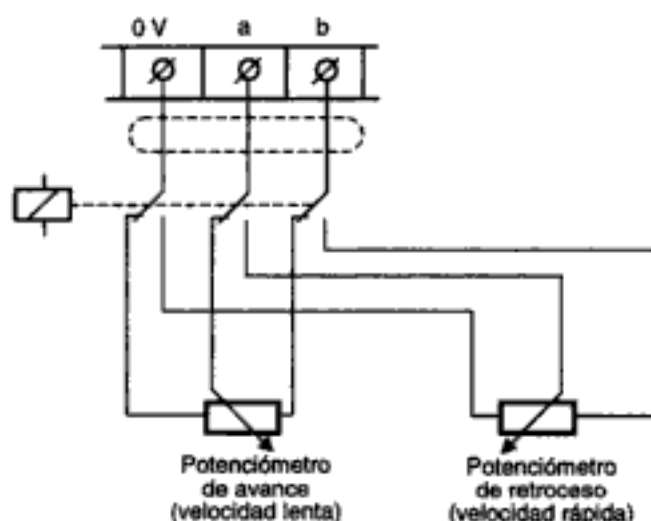


Figura 66. Conexión de dos potenciómetros al convertidor para obtener dos velocidades distintas.

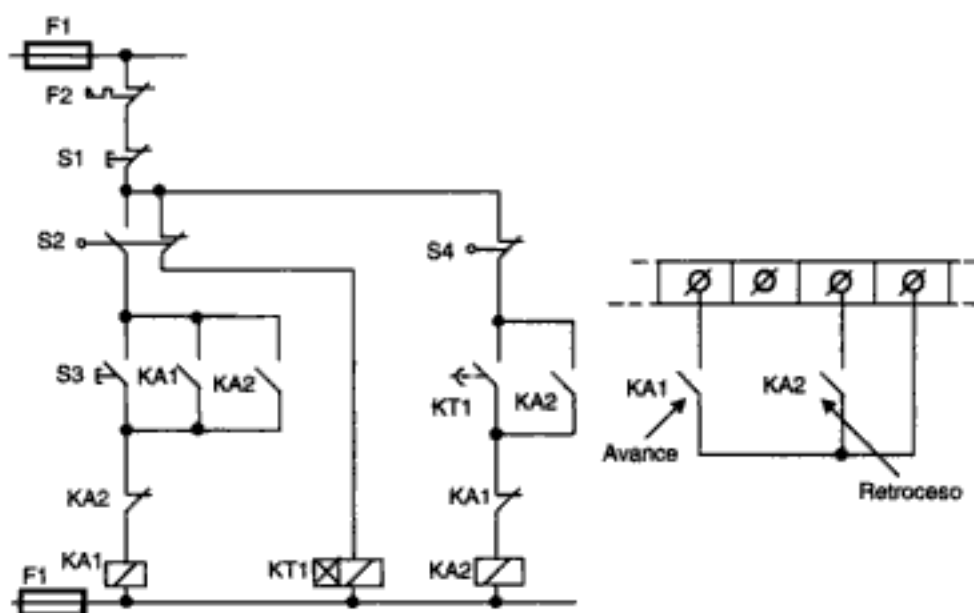


Figura 67. Esquema de mando necesario para conseguir dos velocidades distintas: lenta y rápida.

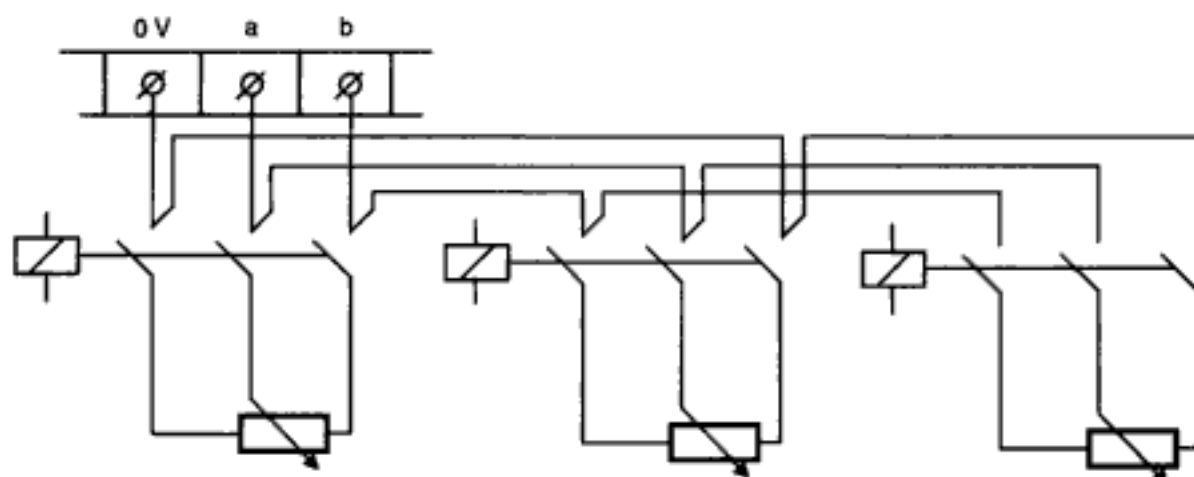


Figura 68. Conexión de varios potenciómetros para conseguir varias velocidades.

Cuando se precisen más velocidades, se dispondrán más relés como indica la figura 68, y se establecerá un automatismo de control de estos relés en el cuadro de la máquina en función de la necesidad específica de la aplicación.

En la mayoría de los procesos productivos se requiere que un determinado motor gire a distintas revoluciones, previamente establecidas, y que arranque y pare con curvas de aceleración y desaceleración específicas en función de la necesidad del producto que esté elaborando.

Los convertidores con prestaciones avanzadas disponen de varias entradas en las que, mediante una combinación binaria, se pueden programar distintas frecuencias con sus rampas de aceleración y desaceleración; son las llamadas *entradas multifunción*.

Estas entradas pueden ser simples contactos libres de potencial, tal como muestra la figura 69.

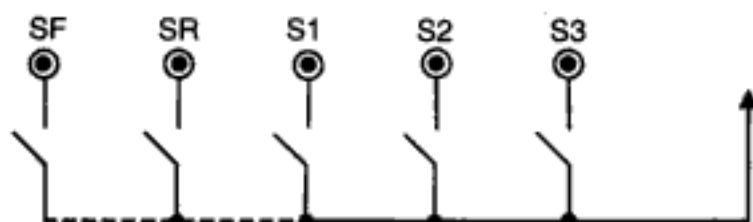


Figura 69. Disposición de las entradas multifunción para obtener distintas velocidades.

Supuesto un convertidor con tres entradas multifunción, S1-S2-S3, se podrían programar siete frecuencias distintas más la estándar que lleva el propio convertidor (entradas S1-S2-S3 a 0), realizando una combinación binaria con las tres entradas (fig. 70).

S1	S2	S3	Velocidad
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3
1	0	0	4
1	0	1	5
1	1	0	6
1	1	1	7
0	0	0	8

Figura 70. Combinación binaria de las entradas multifunción para conseguir distintas velocidades.

Algunos convertidores sólo admiten una o dos rampas de aceleración y desaceleración. Supuesto el caso de programar varias velocidades, todas tendrán las mismas rampas y el tiempo transcurrido en llegar a la frecuencia programada será la parte proporcional que le corresponda a ese valor; por tanto, el parámetro a configurar, en cada velocidad, una vez programada la curva de aceleración y desaceleración, será el valor de la frecuencia de salida, esto es, la velocidad a la que debe girar el motor.

Estos parámetros a programar son los mismos en todos los convertidores, lo único que cambia es el proceso que se tiene que llevar a cabo para programarlos; en algunos convertidores son más laboriosos de programar, por lo que conviene seguir las instrucciones indicadas en los manuales de los equipos que proporcionan los fabricantes.

En la figura 71 se encuentra un ejemplo en el que se puede observar cómo, a cada combinación binaria de las señales de entrada S1-S2-S3, le corresponde una determinada rampa de aceleración, rampa de desaceleración y una frecuencia máxima, previamente programada por el usuario.

Asimismo, se puede observar que al activar la entrada SF se activa una velocidad, previamente programada por el usuario, pero también esta entrada tiene que permanecer activada para que funcionen el resto de las velocidades programadas, condición esta indispensable.

Entrada UP/DOWN

Dentro de la multifunción, existe una modalidad de funcionamiento que es el sistema UP/DOWN (Más/Menos).

Configurando desde la consola de programación esta modalidad se puede conseguir que, al accionar un pulsador normalmente abierto (+), aumente la velocidad del motor; si permanece accionado seguirá aumentando ésta hasta que se deje de accionar.

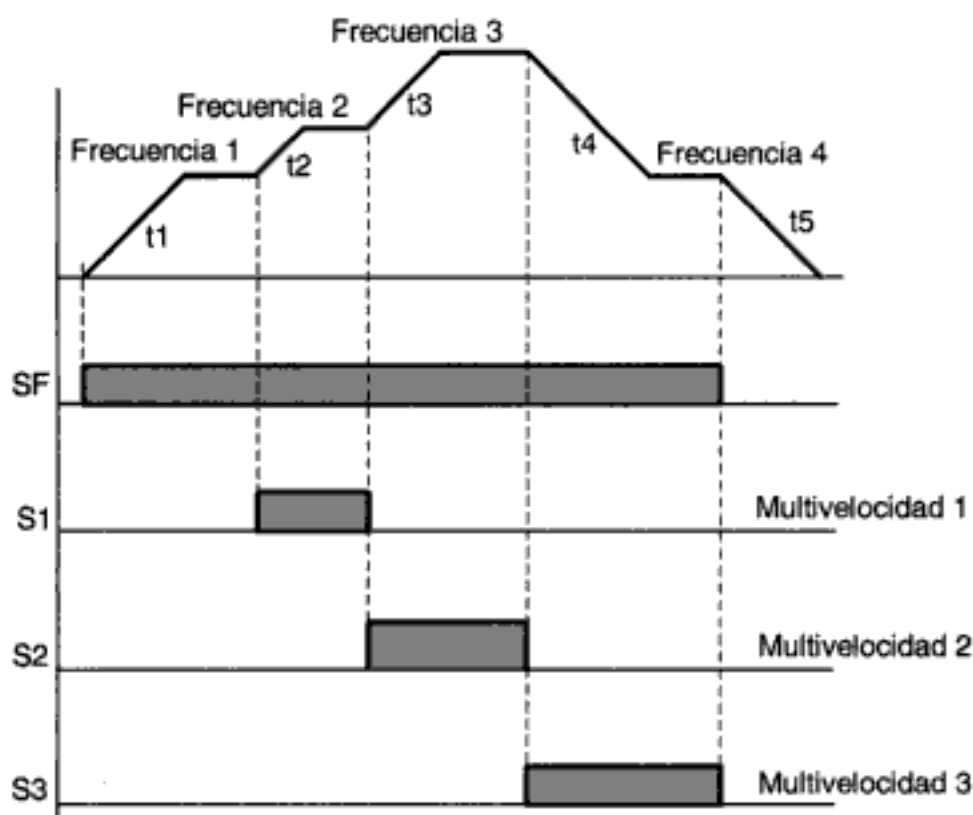


Figura 71. Curvas obtenidas utilizando las entradas multifunción S1-S2-S3.

Para disminuir la velocidad se acciona otra entrada que lleve conectada un pulsador normalmente abierto (-), disminuyendo la velocidad mientras esté pulsado (fig. 72).

Obsérvese que se puentea el borne común con S1 o S2 con dos pulsadores, aunque previamente se tiene que configurar el convertidor con esta modalidad.

El funcionamiento es similar al del mando a distancia de un televisor, cuando se sube o baja el volumen; mientras está accionado sube o baja y al dejar de pulsar se queda establecido en ese punto.

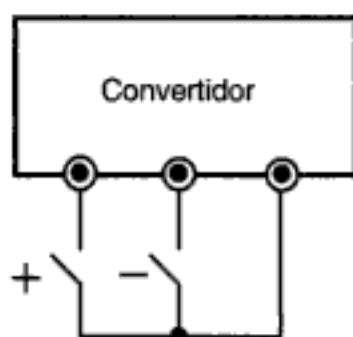


Figura 72. Esquema de conexión para obtener un sistema más/menos.

Entrada/salida con función temporizador

Un parámetro, que en determinadas aplicaciones es muy útil, es el de entrada/salida con función temporizador en la que la salida se activa sólo cuando la entrada está activada durante un periodo determinado de tiempo, programable por el usuario.

Ante activaciones de corta duración, la salida permanece desactivada (figura 73).

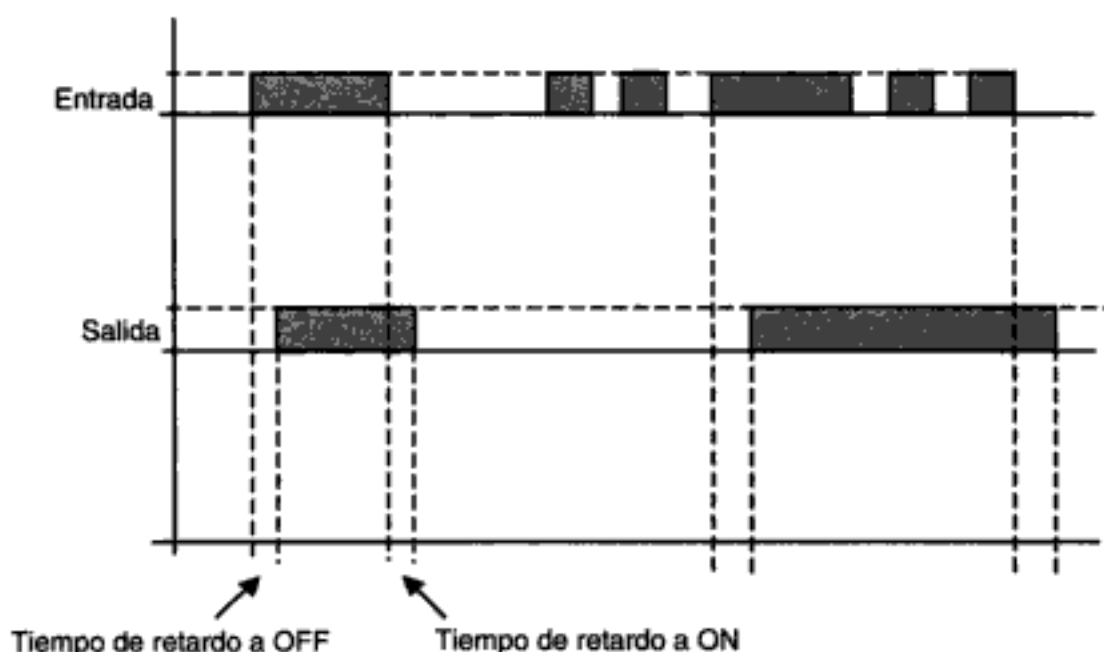


Figura 73. Curva de activación de salida temporizada en función de los impulsos de entrada.

Asimismo, la salida cesa cuando la entrada permanece desactivada durante un periodo determinado de tiempo.

Los tiempos de retardos a la marcha y a la parada son configurados por el usuario en función de la necesidad de la aplicación.

Función autotuning

Los convertidores con prestaciones avanzadas disponen de la función autotuning, que permite introducir los datos que tiene la placa de características del motor a utilizar y es el propio convertidor el que calcula y selecciona, automáticamente, los valores de los parámetros adecuados a ese motor.

5. Salidas

CONEXIONES DE POTENCIA DE SALIDA

Estas conexiones siempre son trifásicas, y a ellas se conectará el motor trifásico, estando indicadas en el convertidor por las letras U-V-W o T1-T2-T3.

El motor se conectará en estrella o triángulo dependiendo de la tensión de alimentación y de los devanados del motor (fig. 74).

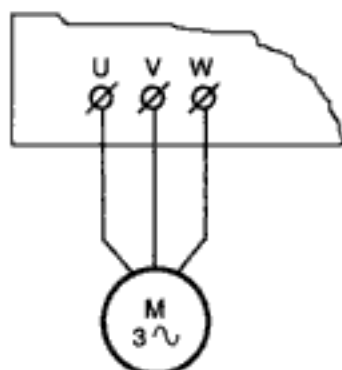


Figura 74. Conexión de potencia de salida.

En el circuito de salida, entre el convertidor y la placa de bornes del motor, no se deben utilizar contactores que conecten y desconecten el circuito, interrumpiendo el funcionamiento del motor, ya que éste es una carga altamente inductiva y producirá picos de tensión elevados que pueden perjudicar los circuitos electrónicos del convertidor. Para realizar correctamente la conexión, sin tener problemas, se deberá maniobrar el circuito de mando del convertidor, explicado en el capítulo anterior.

CONEXIONES DE MANDO DE SALIDA

Entre las conexiones de mando de salida están:

Salidas en los convertidores de frecuencia analógicos

Entre las salidas que proporciona un convertidor analógico están:

- Relé de salida.
- Salida multifunción a transistor.
- Salida analógica.
- Valor actual de frecuencia.
- Valor actual de carga.

Relé de salida

Los convertidores de frecuencia analógicos disponen de un contacto conmutado, libre de potencial, que puede actuar de distintas formas.

Cuando el convertidor está en reposo el contacto permanece inactivo, indicando que está preparado para funcionar.

Cuando el convertidor está funcionando el relé se excita, cambiando sus contactos de estado.

Ante cualquier anomalía, de la índole que sea, que bloquee el convertidor, el relé se desexcitará volviendo los contactos a su estado de reposo (figura 75).

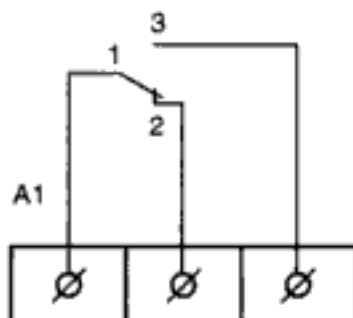


Figura 75. Conexión de contacto de salida libre de potencial.

Asimismo, puede rebasarse pasado un tiempo determinado desde la puesta en marcha del convertidor, generalmente a los cinco segundos.

En otros convertidores con prestaciones más avanzadas, esta salida a relé se puede configurar con distintas opciones, aunque la más general es la que viene como selección inicial; es aquella en la que los contactos cambian de estado al llegar a la frecuencia de referencia programada, con una diferencia de frecuencia, con respecto a la de salida, de ± 5 Hz aproximadamente.

Entre las distintas opciones que se pueden configurar con este relé de salida, están:

Hidden page

- 1) Frecuencia *mayor* que la frecuencia mínima programada.
Este borne se activará si la frecuencia de salida es mayor que la frecuencia mínima programada en el convertidor.
- 2) Frecuencia actual *igual* a la frecuencia programada.
Se activará este borne cuando la frecuencia de salida es igual al valor de la frecuencia programada.

Estos dos parámetros se pueden programar en el convertidor para elegir la opción deseada.

Salida multifunción a transistor

Asimismo, dispone de otra salida, a transistor optoacoplado, configurable con el mismo tipo de parámetro que la salida multifunción a relé (figura 77).

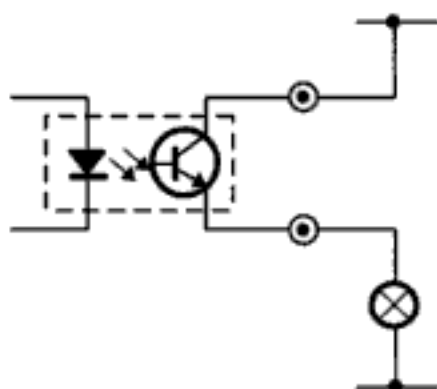


Figura 77. Salida multifunción a transistor optoacoplado.

En este tipo de salida, al no estar libre de tensión, se está limitando el uso de cualquier receptor, generalmente lámparas de señalización, por lo que deberá utilizarse uno cuya tensión y consumo en funcionamiento sea igual o inferior al que soporte el transistor sin riesgo para su integridad; por ello, antes de utilizar este tipo de salida, es conveniente leer detenidamente las instrucciones del fabricante para conocer las características de tensión e intensidad de la salida a transistor.

Salida analógica

Los convertidores disponen de una salida analógica, que actúa en función de dos parámetros configurables por el usuario.

- a) Salida analógica proporcional a la frecuencia.
- b) Salida analógica proporcional a la intensidad del motor.

a) Salida analógica proporcional a la frecuencia

Es una salida configurable que suministra 0-10 V y que actúa proporcionalmente a la frecuencia de salida del convertidor, de tal manera que suministra 0 V cuando la frecuencia de salida es 0 Hz y proporcionará 10 V cuando el convertidor esté entregando el 100% de la frecuencia programada.

En los bornes de salida del convertidor se puede conectar un voltímetro con escala 0-10 V, lógicamente tarado en r.p.m., y se podrán visualizar las revoluciones actuales del motor (fig. 78).

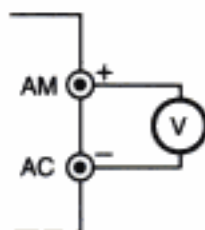


Figura 78. Conexión de un voltímetro para medir las r.p.m. actuales de un motor.

Asimismo, se puede conectar un procesador de señal que admita, como entrada, la señal de 0-10 V y establecer la curva lineal entre el valor de la señal de entrada y el valor que se pretende visualizar en la pantalla del procesador de señal (figs. 79 y 80).

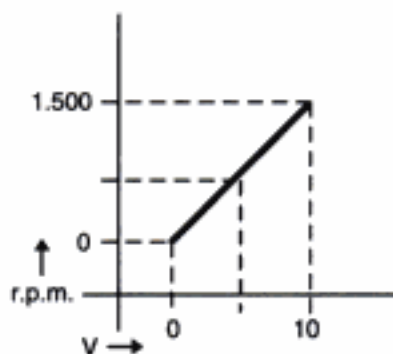


Figura 79. Curva a configurar en el procesador de señal para obtener las r.p.m. del motor en función de la señal de salida del convertidor (0-10 V).



Figura 80. Procesador de señal K3NX para visualizar el valor de las r.p.m. (Cortesía Omron.)

Hidden page

Entre otros muchos convertidores de señal, se pueden encontrar los siguientes:

<i>Entrada</i>	<i>Salida</i>
0-10 V	4-20 mA
0-10 V	20-4 mA
0-10 V	10-0 V
4-20 mA	0-10 V
4-20 mA	10-0 V
4-20 mA	20-4 mA

- b) Si la señal que se pretende invertir es para utilizarla en un convertidor de frecuencia, un procesador de señal, etc., lo más probable es que se pueda configurar la señal con un parámetro del dispositivo en cuestión para poderla utilizar de manera invertida.

En el caso concreto de los convertidores de frecuencia digitales, disponen de un parámetro llamado *desviación de la referencia de entrada*; esto es, una señal que le llegue, por ejemplo 0-10 V, puede hacer que la frecuencia de salida del convertidor sea la máxima cuando a éste le lleguen 0 V, y la frecuencia mínima sea cuando la tensión de referencia sea 10 V, es decir, hace de convertidor de señal (fig 83).

Este mismo ejemplo sería aplicable al configurar el convertidor para señal en corriente (4-20 mA).

A modo de ejemplo se citan algunas aplicaciones que confirman la utilización de esta salida analógica.

Ejemplo 1:

Se trata de controlar varios convertidores con un solo potenciómetro.

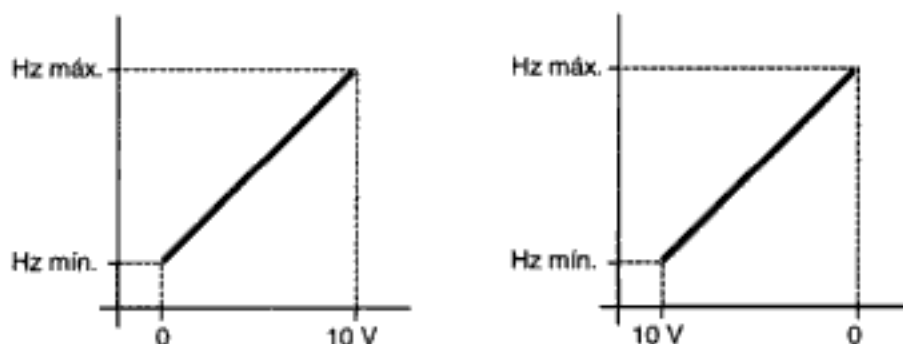


Figura 83. Curvas de señales a construir cuando se pretende utilizarlas como señal directa o inversa.

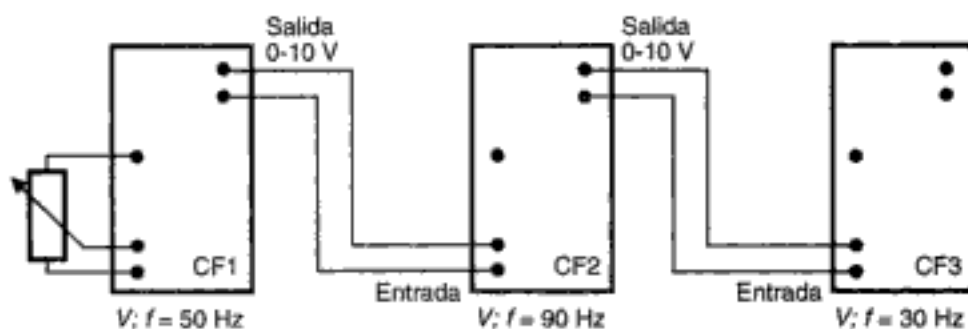


Figura 84. Esquema de conexiones para accionar varios convertidores con un solo potenciómetro.

Al primer convertidor, que actuará como maestro, se le conecta el potenciómetro que será el que maniobrará todos los convertidores; la salida analógica del convertidor CF1 se conecta a los bornes del potenciómetro del convertidor CF2; la salida del convertidor CF2 se conecta a los bornes del CF3 (fig. 84).

Evidentemente, cada convertidor se puede programar con los parámetros que se precisen (no tienen por qué ser iguales), distintas rampas de aceleración, frecuencias máximas distintas, etc.

Ejemplo 2:

Este ejemplo es un clásico en la utilización de convertidores con funcionamiento de manera automática.

Se dispone de una cinta transportadora con motor de 2 CV accionado por un convertidor de frecuencia, que alimenta un molino de 100 CV.

El problema trata de que la cinta transportadora alimente al motor del molino en función de la carga que sea capaz de moler, es decir, si el molino tiene mucha carga en el interior, moliendo mucho, la cinta debe girar muy despacio; por el contrario si el molino no tiene material en su interior, debe girar muy rápido para alimentarlo; en definitiva, se trata de mantener en el molino una carga uniforme en función de lo que sea capaz de moler (fig. 85).

La línea de alimentación del motor del molino tiene un transformador de intensidad (TI) de 150/5, que detecta la intensidad que consume el motor en cada momento; la intensidad del secundario del TI pasa a un convertidor de señal, que convierte la señal 0-5 A que sale del TI en 0-10 V.

Esta tensión (0-10 V) que existe en el convertidor de señal se conecta en los bornes de entrada de tensión (los del potenciómetro).

El funcionamiento es como sigue: Al poner en marcha el motor del molino y no tener material moliendo, la intensidad que circula por el primario del TI es sólo lo que consume en vacío el motor; en esas condiciones él solo proporciona al convertidor aproximadamente 1 A; el convertidor establecerá una tensión a la entrada del convertidor de 1,5 V aproximadamente.

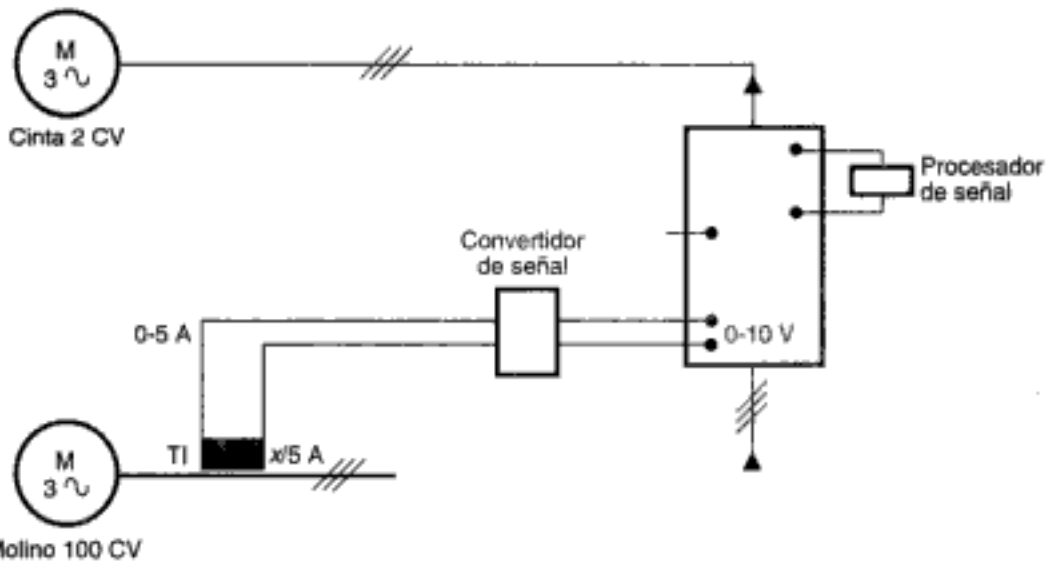


Figura 85. Esquema de conexiones de una aplicación típica de un molino alimentado por una cinta transportadora con convertidor de frecuencia.

Esta entrada se configura con signo negativo; esto es, cuantos más voltios hayan en el convertidor, menos frecuencia de salida proporcionará éste, y viceversa. Este parámetro es llamado por algunos fabricantes como *desviación de la referencia de entrada*.

Como en el convertidor sólo hay 1,5 V, proporciona a la salida una frecuencia muy alta, según la programada, provocando que el motor de la cinta transportadora gire muy rápido alimentando con mucho material el molino.

Al llegarle al molino mucho material para moler, el consumo del motor aumenta y, por tanto, el secundario del TI proporcionará más intensidad; al llegarle más intensidad al convertidor de señal, se establece más tensión y en el convertidor de frecuencia hay más tensión y, por tanto, proporciona menos velocidad a la cinta transportadora.

Cualquier variación en la carga llevará consigo una variación de la velocidad del motor de la cinta de una manera inversa; es decir, a más carga del molino menos velocidad de la cinta y a menos carga del molino más velocidad de la cinta.

Es evidente que en el convertidor se tiene que programar una velocidad máxima, específica según la necesidad del usuario, para cuando se establezcan 10 V y una velocidad mínima para los 0 V (una rampa de aceleración y desaceleración).

El tiempo programado en estas dos rampas será la respuesta que tendrá la velocidad del motor de la cinta ante cualquier variación de la carga; por ello conviene que sea el menor posible.

En el supuesto que el convertidor no tuviera el parámetro de desviación de la referencia de entrada, se tendrá que poner un convertidor de señal de entrada 0-5 A y salida 10-0 V, quedando la entrada al convertidor ya inversa.

Hidden page

6. Elegir un convertidor

Llegada la hora de tener que elegir un convertidor para una determinada aplicación, se deben barajar varios factores.

En primer lugar, se deberá analizar el trabajo que va a desarrollar; así, se pueden encontrar dos aplicaciones muy distintas, es decir, que sean a:

- Par variable
- Par constante

Par variable son aquellas aplicaciones en las que el motor no regenera tensión en la parada ni durante su funcionamiento.

Ejemplos de motores que trabajan a par variable son las cintas transportadoras, bombas centrífugas, ventiladores, etc.

Par constante son aquellas aplicaciones en las que el motor regenera tensión, bien sea cuando cesa la tensión de alimentación al parar éste, o durante la marcha en determinadas condiciones, por ejemplo cuando baja la carga de una grúa, en ascensores, montacargas, etc.

Por ello, en esta aplicación, se tiene que decantar por un convertidor a par constante que incluirá bornes de conexión para resistencia o resistencias de frenado.

En las aplicaciones a par variable, se deberá decidir instalar un convertidor que no contenga estos bornes para resistencia de frenado y, por tanto, será más económico.

El segundo factor a tener en cuenta es la potencia del motor para decidir el convertidor ideal; hasta un máximo de 3 CV se pueden encontrar convertidores con entrada monofásica a 220 V y salida trifásica para un motor en conexión a 220 V; este tipo de convertidor es en la actualidad el más económico del mercado.

A partir de la potencia citada anteriormente, ya tiene que ser de entrada trifásica (220 V o 380 V), según la tensión de que se disponga y la conexión que tenga el motor (220 V o 380V).

El siguiente cuadro muestra las diferentes opciones a la hora de elegir un convertidor en función de la tensión de entrada/salida.

<i>Tipo de entrada</i>	<i>Tensión de entrada</i>	<i>Tipo de salida</i>	<i>Tensión de salida</i>
II	220	III	220
III	220	III	220
III	380	III	380

Otro factor a tener en cuenta es la intensidad del motor, dato que se debe tomar de su placa de características.

El convertidor debe ser capaz de suministrar la intensidad nominal del motor; por ello se debe elegir un convertidor que proporcione una intensidad ligeramente superior a la indicada en la placa de características.

Mención especial se tiene que hacer de los motores de bombas sumergibles, toda vez que éstos consumen una intensidad ligeramente superior a la de un motor estándar de las mismas potencia y revoluciones.

Utilizando un motor especial, por ejemplo de 100 Hz, no se tiene que tener en cuenta nada extraordinario; solamente que al suministrar el convertidor 100 Hz, el motor girará a sus revoluciones nominales y al suministrarle 50 Hz su velocidad descenderá a la mitad.

MEDIDA DEL AISLAMIENTO DEL MOTOR

Al tener que realizar comprobaciones de aislamiento del motor o de los conductores que van desde el convertidor al motor, se tiene que desconectar el convertidor aislándolo de las posibles altas tensiones que proporcionan los Megger, generalmente comprendidas entre 2.000 y 5.000 V.

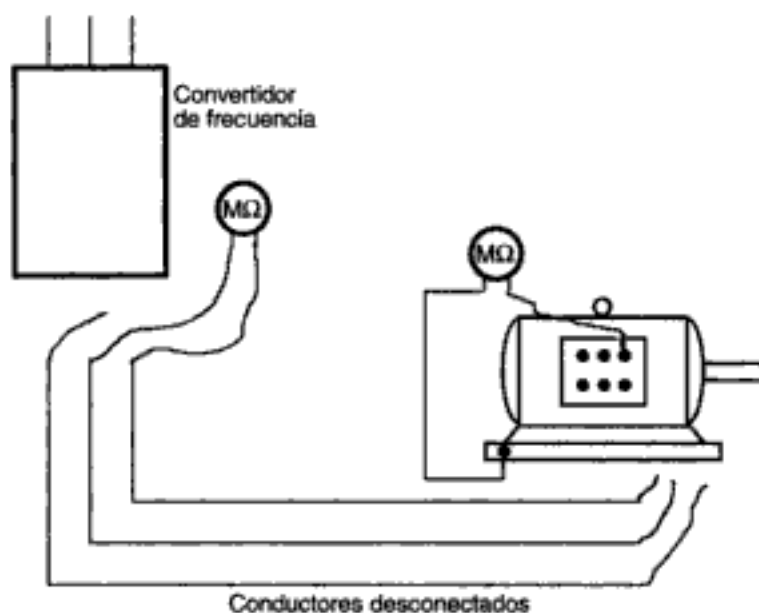


Figura 88. Medida del aislamiento del motor y de los conductores.

Una vez realizada la comprobación, se tiene que descargar éste de posibles tensiones residuales en los devanados; para ello, se deberán ir conectando los tornillos de la placa de bornes a masa y, una vez asegurado que no queda tensión residual en los devanados, conectar el convertidor (fig. 88).

PRECAUCIONES AL INSTALAR UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

Estas precauciones son las clásicas que se toman al conectar un equipo electrónico, aunque especialmente se deben tener en cuenta algunos puntos.

No conducir los cables de potencia del motor junto a otros conductores que lleven corrientes de control de otros dispositivos electrónicos, por ejemplo de controladores de temperatura, sondas de detectores de nivel de líquidos, etc.

No conectar nunca una tensión de alimentación en los bornes de salida del convertidor (U-V-W).

Para manipular en el interior de un convertidor, esperar al menos cinco minutos después de cortar la conexión de red; debe recordarse que los condensadores quedan cargados.

Se ha de tener en cuenta que un motor estándar, al alimentarse directamente de la red, recibe una onda senoidal, más o menos pura; cuando este mismo motor se alimenta a través de un convertidor de frecuencia, las pérdidas aumentan porque no recibe una onda senoidal pura sino unos trenes de impulsos de amplitud variable, muy semejantes a la onda senoidal (fig. 89).

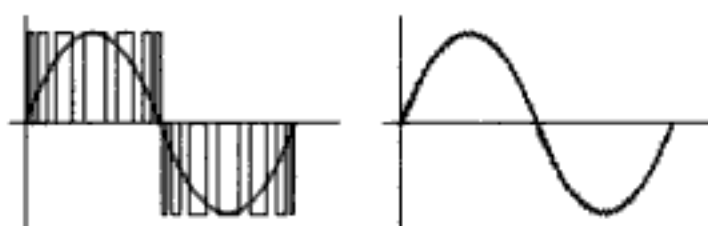


Figura 89. Formas de onda senoidales que proporciona un convertidor de frecuencia.

Asimismo, un motor estándar, al funcionar prolongadamente a baja velocidad, aumenta su temperatura y, por tanto, sus pérdidas; de persistir en este tipo de funcionamiento, existirá el riesgo de que se queme.

Una buena solución sería suministrar ventilación forzada a este motor o utilizar un motor especial para convertidor.

INTERFERENCIAS

El ruido electromagnético es consecuencia de la conmutación que se origina en el interior del convertidor, en sus componentes electrónicos.

No hay una regla fija para paliar estos fenómenos, por otra parte molestos ya que perturban el buen funcionamiento de todo el proceso industrial donde está inmerso el convertidor de frecuencia; pero sí se puede ir reduciendo, con mayor o menor éxito, este ruido electromagnético; para ello se tendrá que adoptar una serie de actuaciones, que se describen seguidamente.

Reducir el número de conmutaciones en el convertidor; para ello, basta reducir el valor del parámetro de frecuencia portadora, generalmente comprendido entre 5 y 15 kHz; la mayoría de los convertidores disponen de un parámetro específico de esta función, llamado *frecuencia portadora*.

Al realizar esta medida disminuirá el ruido electromagnético y aumentará el ruido audible del motor, es decir, se escuchará *zumbar* un poco más al motor; evidentemente, esto no presentará problema alguno porque en una industria el ruido de las máquinas *apagará* el pequeño ruido del motor.

Otra medida es conectar una reactancia de corriente alterna. En realidad, son unas bobinas con núcleo de hierro (autoinductancias de filtro) instaladas entre la línea de alimentación y el convertidor (fig. 90).

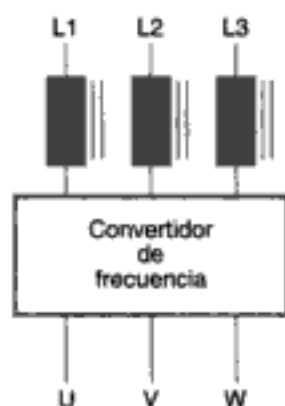


Figura 90. Conexión de una reactancia, entre la línea y el convertidor.

Intercalar un filtro de ruido entre la línea de alimentación y el convertidor, cuya misión es evitar que los ruidos producidos en la conmutación vuelvan a la red; en realidad, este ruido lo envía a tierra, toda vez que el convertidor está conectado a ella (fig. 91).

Los filtros deben cumplir una doble función: evitar que las perturbaciones salgan del equipo al exterior, vía red o aire, y evitar que otras perturbaciones penetren en el equipo (fig. 92).

Asimismo, deben cumplir con la Directiva de Compatibilidad Electromagnética EMC 89/336/EEC.

En la salida del convertidor, entre éste y el motor, instalar un filtro de ruido de salida, similar al filtro conectado a la entrada del convertidor (figura 93).



Figura 91. Filtros de entrada y salida. (Cortesía Prefilter, S.A.)

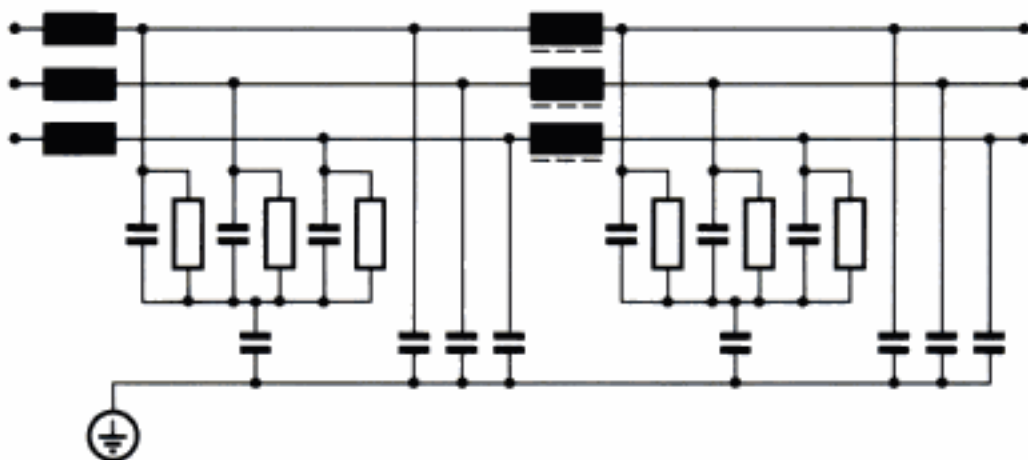


Figura 92. Esquema de filtro de entrada FVIT. (Cortesía Prefilter, S.A.)



Figura 93. Conexión a un convertidor de reactancia trifásica y filtros de entrada y salida.

Es aconsejable que se instalen los filtros recomendados por los fabricantes de convertidores, por ser los más adecuados a cada equipo específico y por medidas físicas. Para ello basta leer las instrucciones de montaje del propio convertidor.

Compatibilidad electromagnética

Casi todos los convertidores de frecuencia producen interferencias electromagnéticas que se propagan a través de la red eléctrica y por el aire; los propios conductores hacen de antena emisora.

Asimismo, los convertidores de frecuencia pueden ser receptores involuntarios de interferencias generadas por otros equipos, bien a través de la red o del aire.

Se llama compatibilidad electromagnética (EMC) a la relación que existe entre los equipos perturbadores y los equipos que reciben estas perturbaciones.

Reactancia de corriente continua

Se pueden instalar reactancias de corriente continua a la salida del convertidor para reducir los armónicos. Por tal motivo, los convertidores de cierta potencia ya las incorporan de serie.

Ferritas de salida

El ruido, generado en la conmutación, sale al exterior por los conductores que desde el convertidor se dirigen al motor; éstos se comportan como antenas y emiten señales de radiofrecuencia al exterior.

Al intercalar ferritas a la salida del convertidor, sobre todo si la longitud de los conductores de potencia al motor es grande, se elimina el ruido radiado al exterior al impedir que dichos conductores se comporten como antenas de radiofrecuencia.

Se debe tener la precaución de no pasar los conductores de tierra y las mallas por las ferritas; sólo los conductores de potencia, y a éstos se le deben dar dos vueltas alrededor de la ferrita (fig. 94).



Figura 94. Instalación de ferrita de salida entre el convertidor y el motor.

Asimismo, se deben conectar las ferritas lo más cerca posible del convertidor y la malla de los conductores de potencia, si la tuviera, conviene conectarla a tierra.

Instalar los convertidores, preferiblemente, en armarios metálicos, toda vez que éstos actúan de pantalla para las ondas radioeléctricas emitidas por el convertidor.

Conectar el sistema a una buena tierra para que la corriente generada en la conmutación del convertidor se canalice a tierra.

Al usar sensores, fotocélulas, componentes inductivos, capacitivos, etc., se puede producir la activación involuntaria de éstos; por ello conviene utilizar una fuente de alimentación independiente del convertidor, para estos equipos, empleando un cable apantallado para el conductor de salida del sensor.

Una vez utilizadas estas medidas, el ruido se reducirá en gran proporción; las figuras 95 y 96 muestran la lectura del ruido emitido por un equipo sin filtro y con filtro.

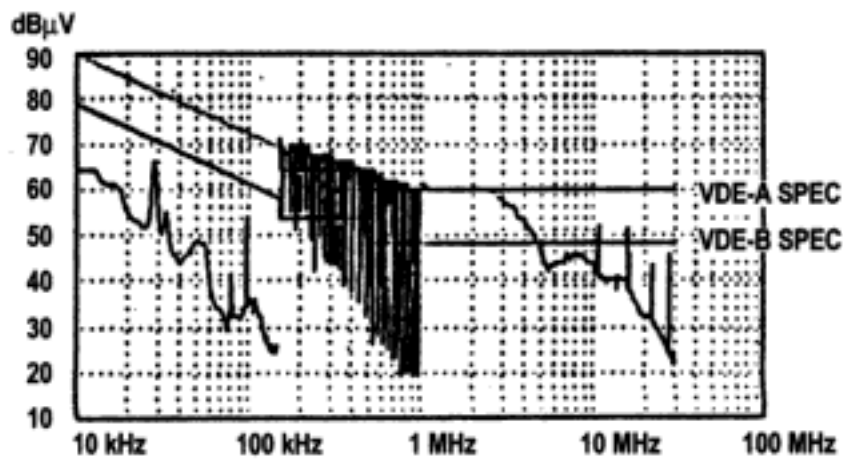


Figura 95. Lectura de ruido emitido por un equipo sin filtro. (Cortesía Prefilter, S.A.)

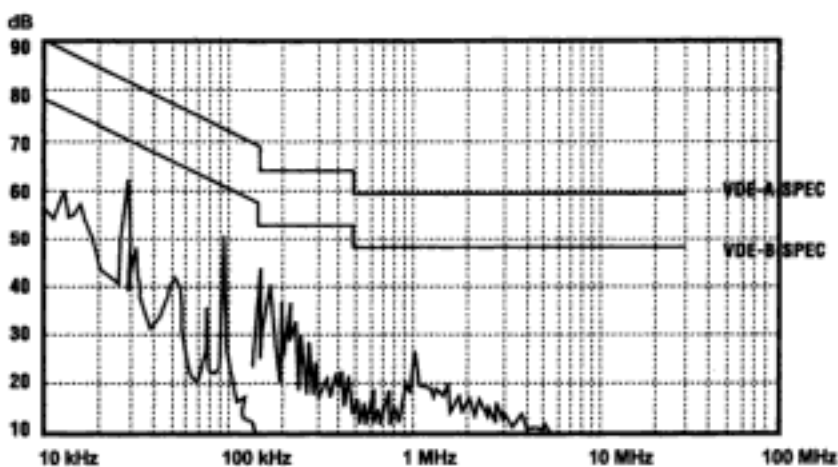


Figura 96. Lectura de ruido emitido por un equipo con filtro. (Cortesía Prefilter, S.A.)

MOTORES CON CONVERTIDOR DE FRECUENCIA INCORPORADO

Los fabricantes de equipos auxiliares de máquinas eléctricas, como son los fabricantes de motores eléctricos, reductores, etc., tratan de dar una solución completa a sus productos. Esto lleva a proporcionar equipos que integren el convertidor más el equipo que incorpora posteriormente el cliente; así nace el motor con convertidor de frecuencia incorporado. Este es un motor estándar con un convertidor de frecuencia, con prestaciones básicas, formando un solo conjunto integrado (fig. 97).

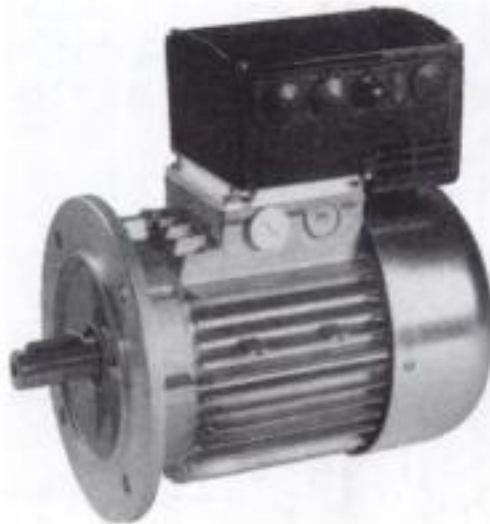


Figura 97. Variador electrónico-motor, formando un conjunto compacto. (Cortesía Tecno-trans-Sabre.)

El convertidor de frecuencia se monta en el interior de la caja de bornes, que lógicamente es de tamaño mayor que las cajas normales al alojar en su interior el convertidor (fig. 98).

La gama de potencias de este tipo de motor con variador no son muy grandes; suelen oscilar entre 0,2 y 4 kW tanto en alimentación monofásica como trifásica.

Entre las muchas ventajas que tienen estos equipos compactos, motor-convertidor, están:

- Menor volumen, ocupan mucho menos espacio.
- Menos conexiones, menor mano de obra y menos material.
- Menos interferencias, eliminan los clásicos conductores blindados.
- Fácil instalación.
- Ventilación independiente en el convertidor.
- Utilización de estos equipos en aplicaciones descentralizadas, eliminando el cuadro eléctrico.

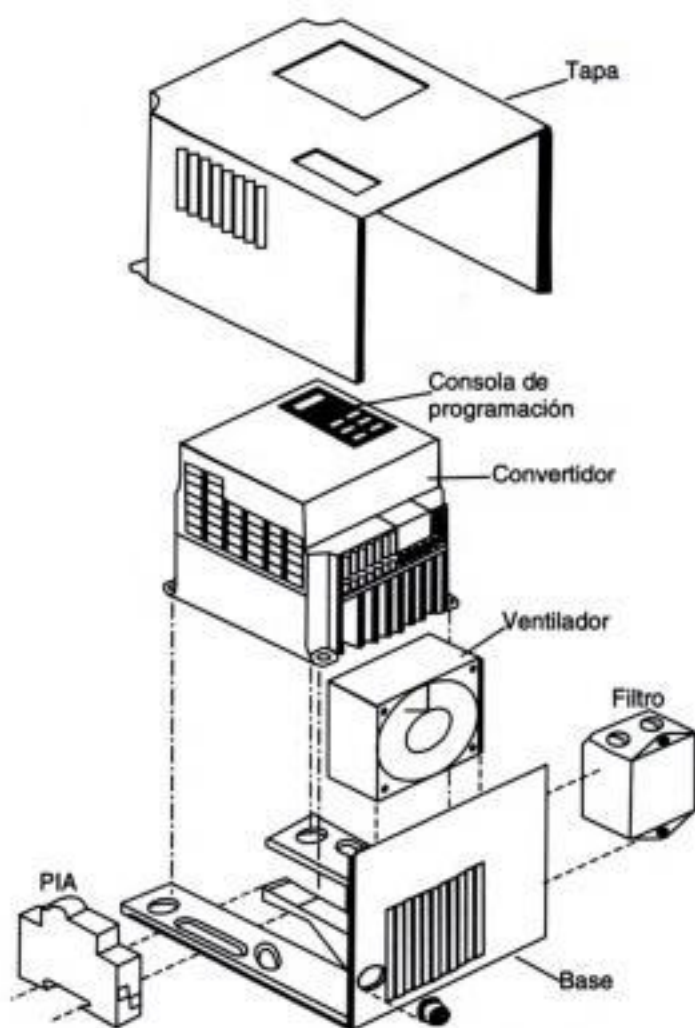


Figura 98. Despiece de un convertidor de frecuencia, montado en un motor estándar. (Cortesía Tecnotrans-Sabre.)



Figura 99. Variador electrónico-motor-reductor. (Cortesía Tecnotrans-Sabre.)

Hidden page

7. Controladores de motores

ARRANCADORES SUAVES

Los sistemas de arranque clásicos de motores eléctricos tienen el inconveniente tomar valores de intensidad mayores a la nominal, indicada en la placa de características del motor.

Otro inconveniente que tienen estos arranques son los periodos de paro instantáneos que se producen en los cambios de conexión, por ejemplo el paso de la conexión estrella a la de triángulo, o el paso de una conexión a otra en el caso de arranque por autotransformador.

El arranque ideal es aquel en que la intensidad tome el valor justo, siendo capaz, con este valor, de arrancar el motor venciendo el par resistente de la máquina accionada, obteniendo con ello pequeñas caídas de tensión en las líneas que van desde los transformadores hasta los motores.

El arrancador suave es un arrancador estático que permite arrancar *sua-vemente* un motor de inducción asíncrono de rotor en cortocircuito, aumentándole progresivamente la tensión desde cero voltios hasta la tensión nominal; es decir, ejerce un control sobre la tensión durante el tiempo que dura el arranque.

Bajo la misma filosofía de funcionamiento, permite la parada de un motor de manera gradual, es decir, disminuyendo progresivamente la tensión de alimentación al motor, desde el valor nominal hasta un valor cero (figura 100).

Cuando el motor precise un gran par de arranque, los arrancadores estáticos no son la solución ideal para este tipo de arranques.

Este tipo de arranques precisan emplear un motor de rotor bobinado con resistencias intercaladas en serie con el rotor.

Como ejemplos de este tipo de arranques difíciles podemos citar las machacadoras de piedras, rompedoras de madera y corcho.

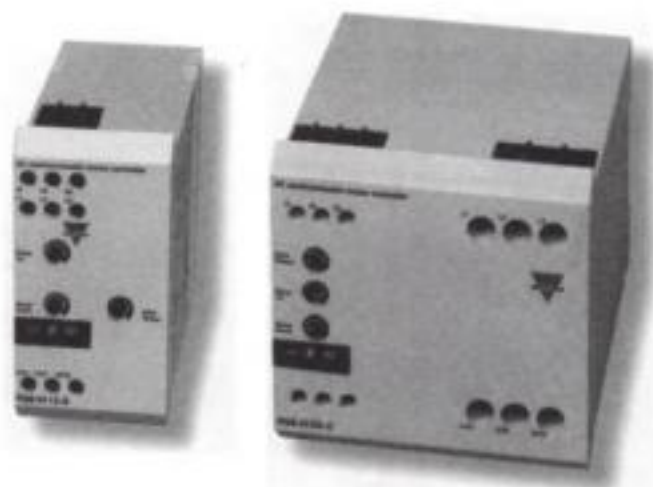


Figura 100. Arrancadores suaves de motores trifásicos por semiconductor. (Cortesía Carlo Gavazzi Electromatic.)

VENTAJAS CON RESPECTO A OTROS SISTEMAS DE ARRANQUE

Al utilizar un controlador de motor, se obtiene, desde el punto de vista técnico:

- Una limitación de la intensidad de arranque controlando la tensión aplicada y consiguiendo con ello reducir gastos innecesarios de energía y sobrecalentamientos en los motores.
- Control del valor de la tensión en el proceso de parada, permitiendo realizar una parada suave, ideal para las aplicaciones de electrobombas.
- Ahorro energético.
- Protege el motor ante sobrecalentamiento de sus devanados.
- Mayor seguridad mecánica en la máquina que acciona el motor.
- Contactos libres de potencial para diversas aplicaciones.
- Elimina las tensiones mecánicas que se producen en el arranque de motores y, en general, en cualquier accionamiento, al efectuar el arranque de una manera suave, de tal manera que evita dañar los productos que están siendo movidos por las máquinas.
- Se eliminan los problemas con los clásicos arrancadores estrella-triángulo.
- Se pueden ajustar, a voluntad, los parámetros de rampa de arranque, rampa de parada y par de arranque.
- Evita el desgaste mecánico que puedan sufrir las máquinas en el arranque y parada de manera tan brusca.

Todo ello contribuye a una reducción en los costos de las reparaciones y una prolongación de la vida de los motores.

Hidden page

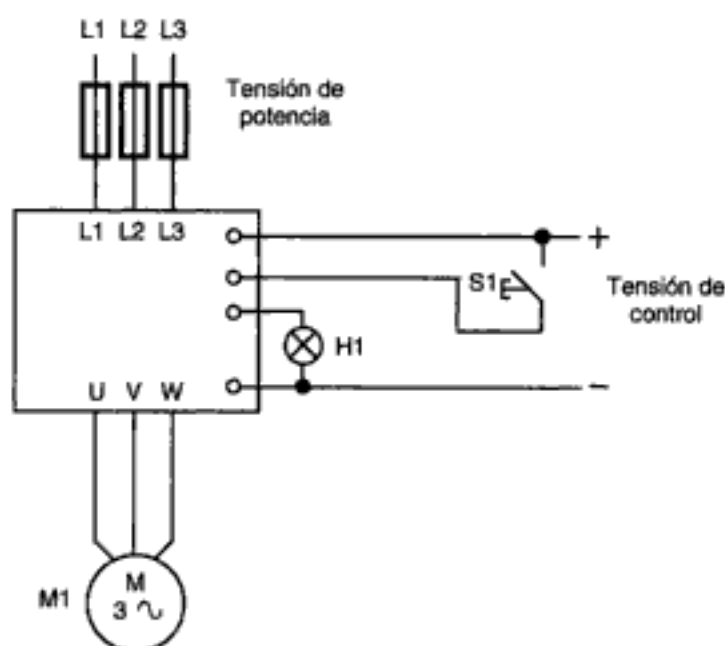


Figura 101. Ejemplo de conexión básica de controlador de motores con piloto de señalización conectado a la salida del relé auxiliar.

Algunos arrancadores estáticos incorporan un contacto, normalmente abierto, de un relé de salida que se activa al quedar puenteados los semiconductores de potencia, pudiéndose aprovechar dicho contacto para cualquier aplicación, como, por ejemplo, conectar un piloto de señalización que indique que el motor está trabajando (fig. 101).

Ajustes

Las funciones más generales que disponen los arrancadores estáticos con prestaciones avanzadas son:

- Rampa de aceleración (tensión aplicada en función del tiempo).
- Control de la intensidad en el arranque.
- Mejora del factor de potencia del motor.
- Visualización de los parámetros.
- Rampa de aceleración (interrupción progresiva de la tensión en función del tiempo).

Los relés estáticos básicos para arranque suave de motores llevan instalados, generalmente, tres potenciómetros que regulan a voluntad, en función de la aplicación concreta que precise el usuario, los siguientes parámetros:

- Rampa de arranque.
- Rampa de parada.
- Regulación del par.

Rampa de arranque (ramp up)

Es el tiempo que tarda en pasar desde 0 hasta 100% de la tensión de alimentación y es regulable por el usuario mediante un potenciómetro insertado en el frontal del equipo.

Generalmente, este potenciómetro regula desde 0 hasta 20 s, aunque este tiempo puede variar dependiendo del fabricante del relé estático.

Una vez definido este parámetro, se puede dibujar la curva de arranque.

Ejemplo:

Se desea arrancar un motor para que alcance su tensión nominal en 15 s.

El potenciómetro se deberá desplazar hasta que indique 15 s y la curva sería la dibujada en la figura 102 con trazo grueso.

Si se pretendiera una rampa de arranque de 5 s, la curva sería la dibujada en trazo fino en la misma figura 102.

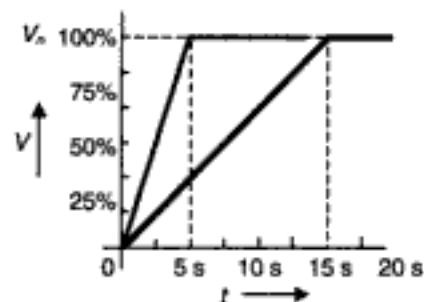


Figura 102. Rampas de arranque de un relé estático; con trazo grueso 15 s, con trazo fino 5 s.

El recorte que provocan los tiristores en la onda senoidal produce una reducción de tensión en los bornes del motor que intenta arrancar, provocando, asimismo, una reducción de la intensidad y manteniéndola dentro de los márgenes de consigna introducidos en el microprocesador.

Ahora bien, este aumento progresivo de la tensión, comenzando desde un punto determinado, no siempre provoca un buen par de arranque en el motor porque hay veces que no llega ni siquiera a iniciarlo, produciendo con ello una gran elevación de intensidad en ese momento.

Por ello, los fabricantes incorporan un sistema que permite aplicar, durante un periodo muy corto, la tensión nominal del motor, para después pasar al punto determinado en la consigna como par de arranque; con esto se consigue un buen par de arranque.

Rampa de parada (ramp down)

Es el tiempo que tarda en pasar desde el 100% de la tensión de alimentación hasta 0 voltios.

Al accionar el pulsador de parada, el motor no para instantáneamente sino que lo hace en función del potenciómetro de ajuste de rampa de parada, regulado a voluntad por el usuario.

Ejemplo:

Si se pretendiera parar un motor en 20 s, el potenciómetro de rampa de parada se tendría que desplazar a 20 s y la curva sería la dibujada en la figura 103, en trazo grueso.

Por el contrario, para un tiempo de parada de 10 s, el potenciómetro se deberá situar en 10 s y la curva sería la dibujada en trazo fino en la figura 103.

Este parámetro es muy importante en aplicaciones de bombas para evitar los clásicos golpes de ariete que se producen en las tuberías al parar bruscamente la bomba.

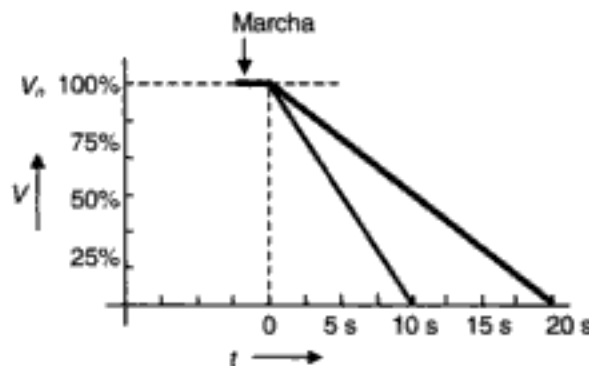


Figura 103. Rampas de parada de relés estáticos.

Regulación del par (start torque)

Este potenciómetro regula el valor de la tensión de inicio, en tanto por ciento, desde que se produce la orden de marcha; a partir de dicha tensión de inicio, el motor tardará en alcanzar la tensión nominal el tiempo que esté regulado el potenciómetro de rampa de marcha.

En la figura 104 el par de arranque está regulado al 50%, lo que significa que, suponiendo un motor de 220-380 V conectado a 220 V, recibirá en sus bornes, en el instante de dar tensión al circuito de control, supuesto el circuito de potencia con tensión, el 50% de la tensión de alimentación, esto es, 110 V; esta tensión comenzará a aumentar hasta llegar a la tensión nominal en 10 s, punto en el que está regulado el potenciómetro de rampa de arranque.

Una vez alcanzado este punto (tensión nominal), un relé de potencia situado en el interior del relé estático puenteará el circuito de potencia (triac), quedando conectado directamente a la red y evitando así que los semiconductores se calienten (fig. 105).

Hidden page

Indicadores en los arrancadores suaves

Generalmente disponen de tres LED para indicar el estado en que se encuentra el relé; éstos son:

- *Indicador de tensión.* Se ilumina al conectar el arrancador a tensión; indica que está bajo tensión y preparado para funcionar (está operativo).
- *Indicador de mando.* Se ilumina al accionar la tensión de mando y se apaga cuando el motor tiene el 100% de la tensión.
- *Indicador de marcha.* Se ilumina cuando el motor tiene el 100% de la tensión, y está puentado el circuito electrónico, con los contactos de un relé electromagnético, quedando conectado directamente a la tensión de alimentación.

ESQUEMAS DE CONEXIÓN

Los tipos de conexión más corrientes son los siguientes:

- Arranque de motor controlado por la tensión de red.
- Arranque suave por conexión de la tensión de control.
- Arranque suave y parada suave del motor.
- Arranque suave con función de marcha y parada.
- Arranque suave con mando a corriente alterna.

Arranque de motor controlado por la tensión de red

El arranque suave con este sistema se realiza a través de la tensión de mando auxiliar, bien sea ésta alterna o continua (fig. 107).

Al accionar S1 se excita la bobina KM1, conectando el arrancador a la red; como quiera que la tensión de control está conectada a una fuente de tensión independiente de la de potencia, el motor comenzará a arrancar suavemente en función de la regulación de los potenciómetros de ajuste, aceleración y par.

Arranque suave por conexión de la tensión de control

En este sistema el circuito de potencia está siempre conectado a la red de alimentación, produciéndose el arranque por la conexión del circuito de control a una fuente de tensión continua, a través del interruptor S1; al cerrar éste, el motor arrancará, al abrirlo, se parará (fig. 108).

Hidden page

Arranque suave y parada suave de motor

Conectando el arrancador suave como indica la figura 109, al cerrar S1 el motor comenzará a arrancar en función de la regulación de los potenciómetros de rampa de arranque y de par.

Al abrir S1 el motor comenzará a parar en función de la posición del potenciómetro de rampa de parada.

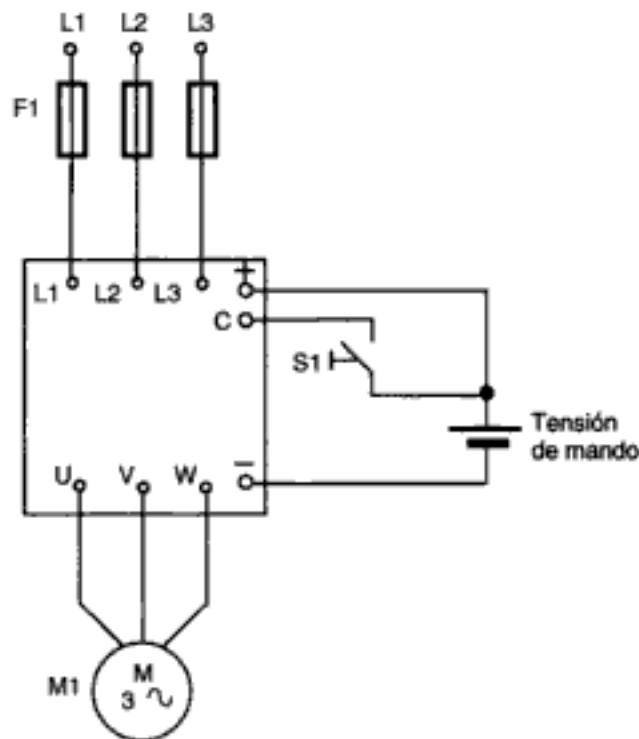


Figura 109. Conexión para el arranque suave y parada suave del motor. (Cortesía de Carlo Gavazzi.)

Arranque suave con función de marcha y parada (función biestable)

Para hacer que el motor arranque con la clásica función de marcha-paro, con dos pulsadores, se efectúa la conexión que indica la figura 110.

Pulsar S1 hasta que la lámpara se ilumine; dejar de pulsar y el motor arrancará.

Para parar, pulsar S2.

Arrancador suave con mando a corriente alterna

La utilización de una tensión continua de control requiere tener a disposición del relé estático una fuente de alimentación independiente, con el costo económico que ello conlleva.

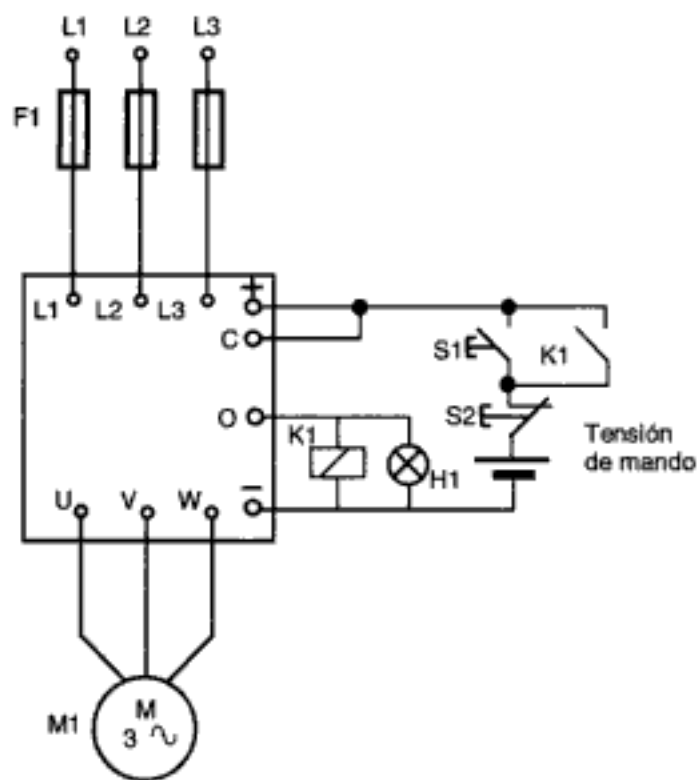


Figura 110. Conexión para el arranque con la función de marcha y parada con pulsadores.
(Cortesía Carlo Gavazzi.)

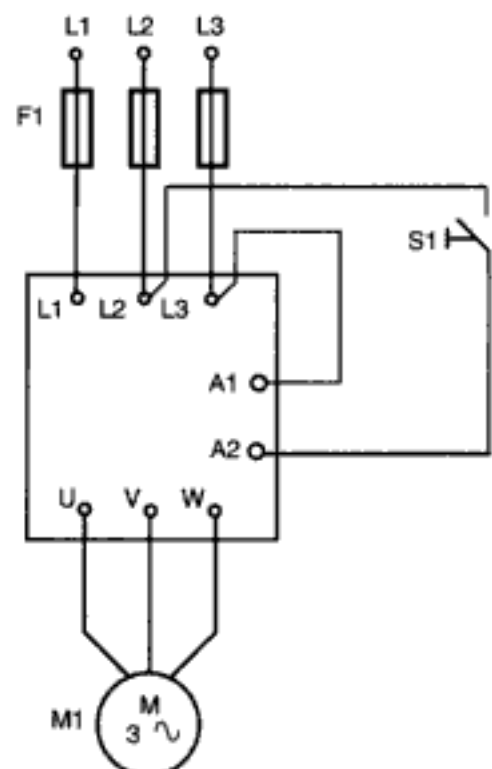


Figura 111. Arrancador suave con mando de c.a. de la misma tensión que el circuito de potencia.

Hidden page

8. Triac

En los últimos años, el triac se ha estado utilizando de manera tan progresiva en la industria, que va sustituyendo poco a poco, con muy claras diferencias, a los relés electromagnéticos y a los contactores; asimismo, se usan en nuevos sistemas de conmutación y control de potencias que hasta ahora utilizaban complejos equipos electrónicos.

El triac es un tiristor bidireccional con un electrodo de control, llamado puerta (gate), que se comporta de manera similar a como lo harían dos tiristores montados en oposición.

Difiere del funcionamiento de un tiristor por el hecho de poder conducir corriente en los dos sentidos, según que la señal que llega a la puerta sea positiva o negativa; por tanto, pertenece a la familia de los semiconductores de potencia que funcionan como un *interruptor controlado* por una tensión alterna.

El hecho de que pueda conducir en los dos sentidos hace que las aplicaciones de este elemento *regulador* sean utilizadas como control de la corriente alterna, simplificando así los circuitos que antaño eran complejos y caros. El símbolo del triac y su circuito equivalente se representan en la figura 112.

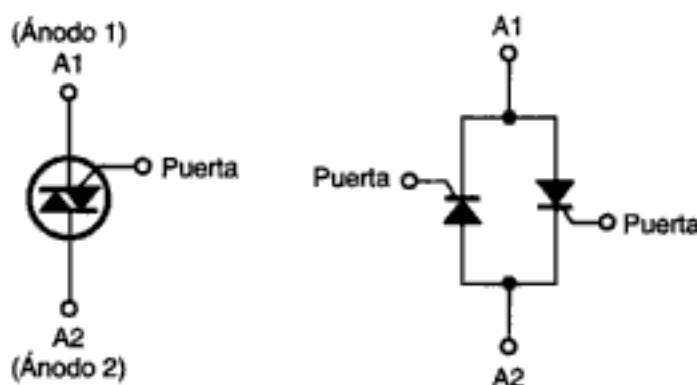


Figura 112. Símbolo del triac y circuito equivalente con dos tiristores.

La aplicación típica de los triacs es la regulación de la intensidad lumínica de lámparas incandescentes, aunque el campo de las aplicaciones ha aumentado tan rápidamente que está presente en la mayoría de equipos de conmutación.

FUNCIONAMIENTO

En ausencia de señal, el triac permanece bloqueado (no conduce), es decir, no circula corriente entre A1 y A2.

Aplicando una pequeña corriente en la puerta, el triac conduce; esto es, circula una corriente entre A1 y A2 y la carga conectada al triac es atravesada por una corriente proporcional al valor de la corriente de puerta (fig. 113).

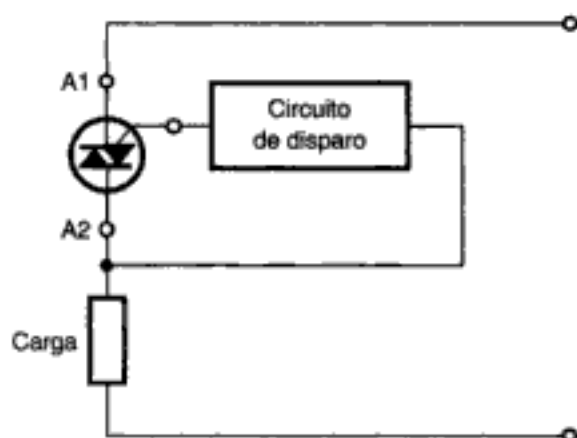


Figura 113. Circulación de corriente en un triac en función del valor de la corriente de puerta.

La conducción en el triac se efectúa de la siguiente manera: En un momento determinado, la tensión de disparo (puerta) es positiva; en dicho momento conduce sólo durante el semiperiodo positivo. Al cambiar de polaridad la onda senoidal, la tensión de disparo se torna negativa y el triac conduce en ese instante sólo en los semiperiodos negativos. En todo momento mantiene un sincronismo de polaridades y con un valor que depende de la corriente aplicada a la puerta (fig. 114).

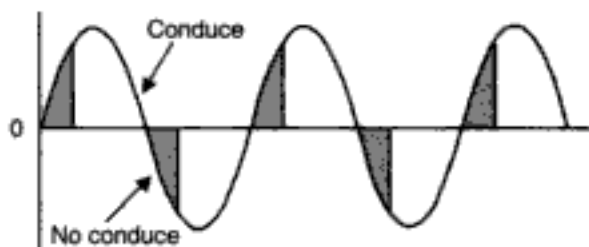


Figura 114. Control del ángulo de fase en los dos semiperiodos, positivos y negativos, siendo los ángulos de fase iguales.

Hidden page

- Gran poder de conmutación rápida, es decir, elevado número de maniobras por segundo; esta velocidad es imposible que un relé o contactor electromecánico sea capaz de superarla, debido al desplazamiento físico que tienen que realizar los contactos.

El dispositivo que realiza el disparo, a una determinada tensión, es el diac.

DIAC

Es un elemento bidireccional de dos terminales que se utiliza para disparar indistintamente un triac o un tiristor.

Este dispositivo se vuelve conductor cuando la tensión alcanza un determinado valor, cualquiera que sea el sentido de ésta.

Como elemento complementario del triac, tiene por misión suministrar los impulsos positivos y negativos a la puerta (fig. 117).



Figura 117. Símbolo del diac.

REGULACIÓN DE UNA CARGA CON TRIAC

Una de las aplicaciones más características de utilización del triac es el control de la intensidad luminosa de una lámpara de incandescencia, esto es, con filamento, aunque como carga se puede utilizar cualquier otro receptor que sea resistivo y se le pueda regular la tensión. No es el caso de los motores de inducción ni de las lámparas de descarga, que requieren otro tipo de regulación.

El esquema de un circuito de regulación clásico es el que aparece en la figura 118.

Al conectar a la red el sistema, el condensador C1 se carga a través de R1 y del potenciómetro R2. El tiempo que dure la carga del condensador dependerá de la posición de R2. Al cargarse el condensador C1, el diac toma la tensión de éste antes de transcurrir un semiperiodo, lo que produce un impulso sobre el triac; este impulso inicia la conducción, circulando corriente a través del triac y de la carga durante un semiperiodo, sea éste *positivo* o *negativo*.

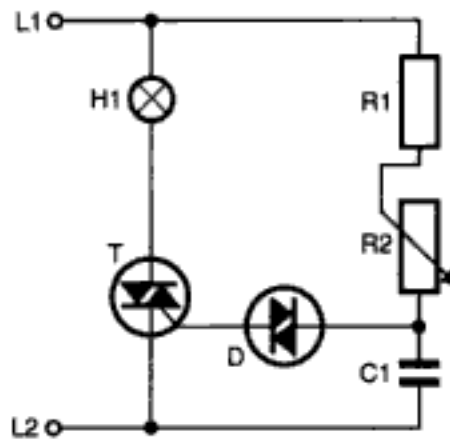


Figura 118. Esquema de circuito de regulación de una lámpara incandescente.

Suponiendo que R2 tome un valor alto, desplazado a su máxima resistencia, C1 tardará en cargarse más de un semiperiodo, no le dará tiempo a descargarse sobre el diac y éste no podrá enviar un impulso, positivo o negativo, al triac; por tanto, éste no conducirá y en la carga no aparecerá corriente alguna.

Es frecuente que, durante el funcionamiento de la máquina, el circuito a triac genere interferencias en otros aparatos electrónicos. Para evitar este fenómeno, se debe conectar en paralelo con el triac un circuito de desparasitaje formado por un condensador y una resistencia (fig. 119).

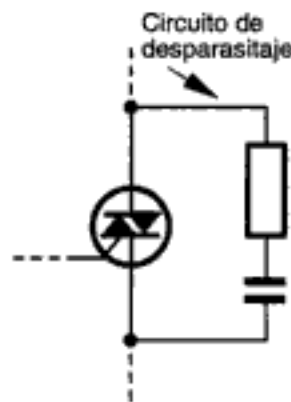


Figura 119. Circuito de desparasitaje formado por un condensador y una resistencia.

REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE UN MOTOR UNIVERSAL

La conexión para regular la velocidad de un motor universal es similar al ejemplo anterior, pero sustituyendo la lámpara incandescente por el motor universal, como se muestra en la figura 120. El circuito de disparo es el mismo y la filosofía de funcionamiento también lo es.

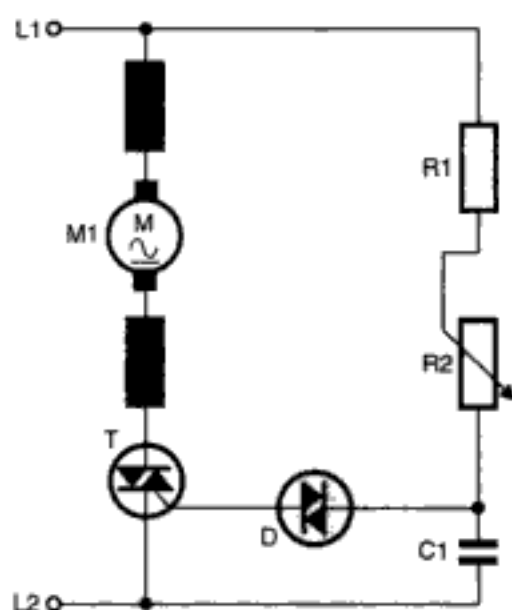


Figura 120. Esquema de la variación de velocidad en un motor universal.

Accionando el potenciómetro se conseguirá, en los bornes del motor, una variación de tensión y, por tanto, una variación en la velocidad de éste.

ARRANQUE Y VARIACIÓN DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.C. CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

Como se ha comentado anteriormente, el triac sólo regula la tensión en corriente alterna; pero si se quiere *controlar* una corriente continua, basta rectificar ésta y se obtendrá corriente continua regulable a partir de una corriente alterna.

Este sistema se puede emplear para arrancar y variar la velocidad de un motor de corriente continua con excitación independiente.

En la figura 121 se puede ver el esquema del arranque y variación de la velocidad de un motor de corriente continua con excitación independiente.

El devanado de excitación, bornes J-K, recibe tensión constante, sin regular, directamente de red a través de un rectificador de onda completa, asegurando siempre la existencia de flujo de excitación cualquiera que sea la posición del potenciómetro; con ello se consigue que el motor no se embale y se deteriore ante la ausencia de la tensión de excitación, factor imprescindible para su correcto funcionamiento.

El control de la velocidad se efectúa sobre el circuito de inducido, una vez regulada y rectificada la corriente; es decir, la corriente que entra en el rectificador es alterna y con un valor variable que depende de la posición del potenciómetro, pasando al inducido en forma de corriente continua, también con un valor variable, una vez sobrepasado el rectificador.

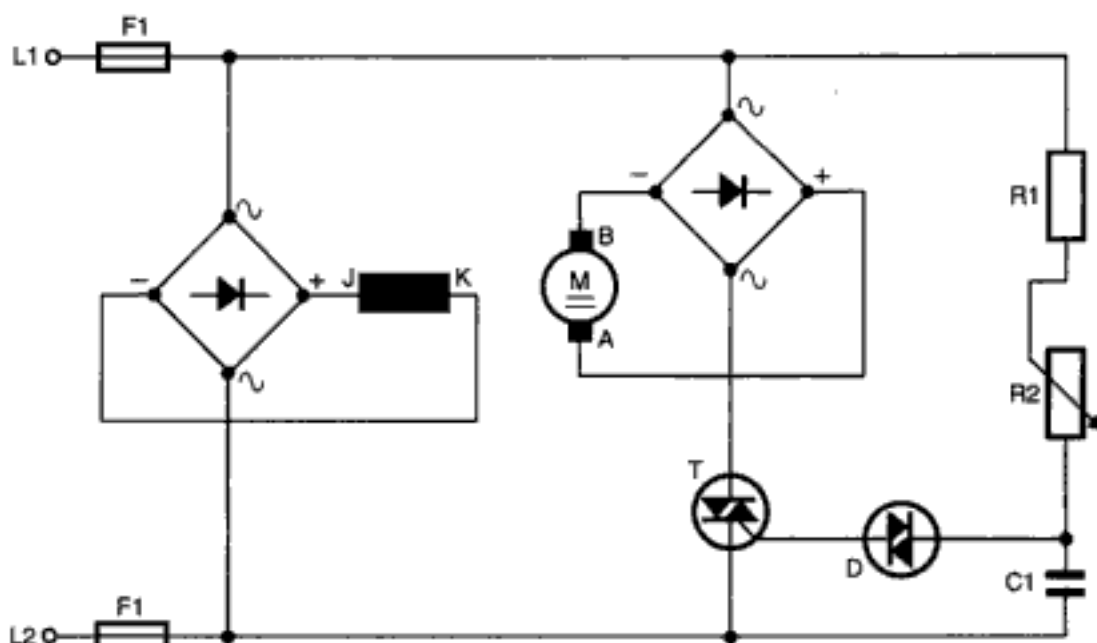


Figura 121. Esquema del arranque y variación de velocidad de un motor de corriente continua con excitación independiente.

INTERRUPTOR DE CORRIENTE ALTERNA CON TRIAC

El triac no sólo se utiliza como elemento regulador de tensión, sino que se puede utilizar como interruptor de estado sólido, esto es, interruptor con ausencia de contactos con las ventajas que ello implica.

En la figura 122 se dibuja el esquema de gobierno, *todo o nada*, de una lámpara y se observa que al cerrar el interruptor S1 se polariza la puerta con la tensión de red a través de R1 y la lámpara se ilumina con la tensión nominal de red, es decir, a pleno brillo. Al abrir S1, la lámpara se apagará al final del ciclo porque el triac se desceba. La misión de R1 es limitar la intensidad máxima de puerta; su valor en ohmios depende de la tensión de la red y de las características del triac utilizado.

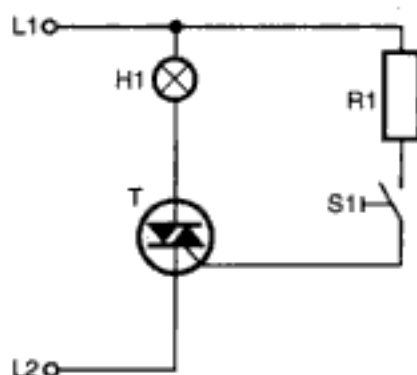


Figura 122. Esquema del circuito de encendido de una lámpara con triac.

INTERRUPTOR DE CORRIENTE ALTERNA CONTROLADO POR CORRIENTE CONTINUA CON TRIAC

Este sistema es similar al anterior, consiguiendo con ello una mejora como es eliminar los picos de tensión (fig. 123).

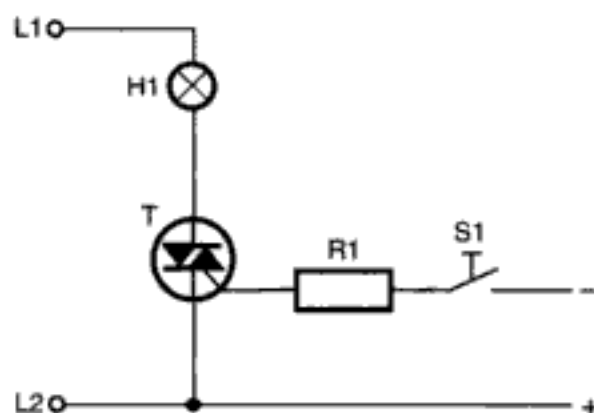


Figura 123. Esquema de interruptor de corriente alterna controlado por corriente continua.

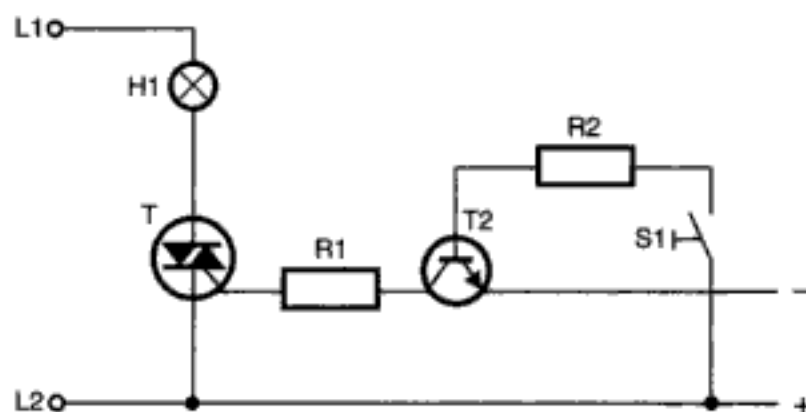


Figura 124. Interruptor de corriente alterna controlado por corriente continua y un transistor de entrada.

Cuando la corriente de puerta se considera de un valor elevado, se puede usar un transistor para disminuir la intensidad de puerta; en la figura 124 se puede observar el esquema a utilizar.

9. Relés estáticos

DEFINICIÓN

Un relé estático, llamado también relé de estado sólido, es un dispositivo de conmutación electrónico que realiza la conexión y desconexión de una carga con ausencia de contactos móviles en su interior (fig. 125).

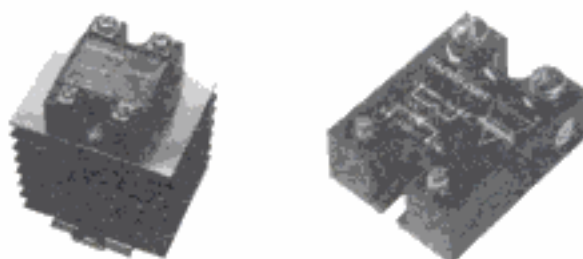


Figura 125. Relés de estado sólido, el de la izquierda con refrigerador incorporado. (Cortesía Carlo Gavazzi.)

UTILIZACIÓN

Se emplea para conectar y desconectar cargas cuando las frecuencias de funcionamiento son muy elevadas.

Su funcionamiento es similar a un relé electromagnético clásico. Con una pequeña corriente de control se pueden controlar grandes potencias, con independencia del valor de la tensión de control con respecto al de la potencia (fig. 126).

CIRCUITOS

Los relés estáticos disponen de dos circuitos principales:

- Circuito de control o entrada.
- Circuito de potencia o salida.

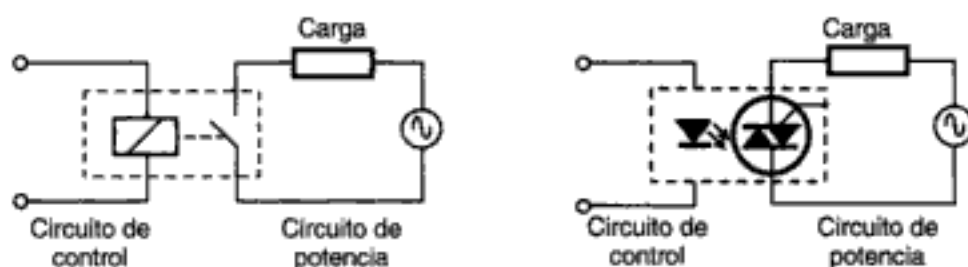


Figura 126. Comparación entre un relé electromagnético y uno de estado sólido; obsérvese que los dos disponen de circuito de control y de potencia, totalmente independientes.

Entre estos dos circuitos existe una separación galvánica; no hay conexión eléctrica entre la entrada y la salida, evitando una relación eléctrica entre ellos.

La separación galvánica se consigue con optoacopladores, bien sean fototriacs o fotoacopladores (figs. 127 y 128).

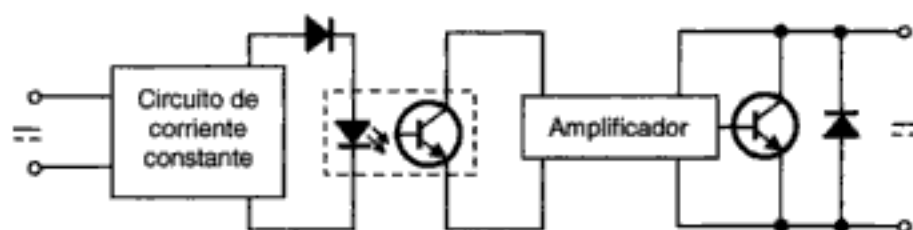


Figura 127. Circuito con entrada de c.c. y salida de c.c.

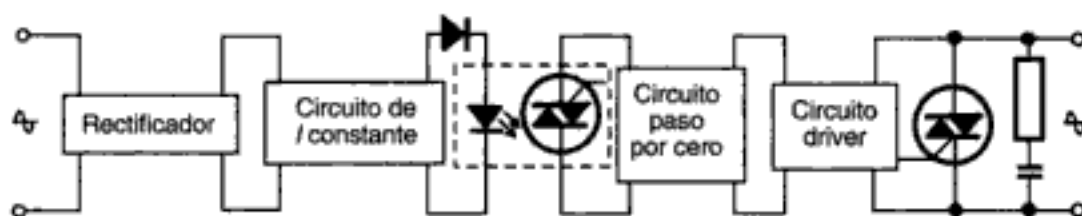


Figura 128. Circuito con entrada de c.a. y salida de c.a.

VENTAJAS

Las ventajas más sobresalientes de los relés de estado sólido, con respecto a los ya clásicos relés electromagnéticos, son innumerables; las más importantes son:

- Una más larga vida comparada con los relés electromagnéticos.
- Eliminación de arcos eléctricos entre sus contactos.
- Al no disponer de contactos móviles, se pueden utilizar en ambientes agresivos o con polvo en suspensión, etc., pues al circuito de control o de potencia no le afecta y su vida será mayor.

- Inmune a las vibraciones producidas por las máquinas al no disponer en su interior de partes móviles, lo que facilita su instalación en máquinas industriales.
- Separación galvánica entre los circuitos de control y los de potencia, esto es, no existe conexión eléctrica entre sus circuitos, por lo que la tensión de control puede ser diferente de la de potencia.
- Se puede controlar una salida de manera analógica en función de una entrada también analógica, eliminando el clásico “todo o nada” de los relés electromagnéticos.
- Ausencia de ruidos producidos por cuerpos extraños en los circuitos magnéticos.
- El circuito de control se puede conectar a autómatas programables, ordenadores, etc., lo que permitirá controlar la salida en función de los parámetros que le lleguen al circuito de control.
- El número de maniobras (conexión y desconexión) por segundo se puede incrementar al no tener que desplazarse físicamente sus contactos, ya que el circuito de salida conduce o no conduce pero no tiene movimiento físico.

Todas estas ventajas se pueden considerar como tales siempre y cuando se utilicen adecuadamente en función de las necesidades y de las características del relé de estado sólido seleccionado.

APLICACIONES

Las aplicaciones más generales son:

- Hornos con resistencias eléctricas.
- Control de temperaturas de manera analógica.
- Control de motores.
- Equipos de soldadura.
- Sistemas de iluminación espectacular.
- Sistema de control de tráfico (semáforos).

TIPOS DE RELÉS ESTÁTICOS

Existen dos grandes grupos de relés estáticos:

- Relés estáticos monofásicos.
- Relés estáticos trifásicos.

10. Relés estáticos monofásicos

Son aquellos que maniobran cargas monofásicas, siendo su circuito de control también monofásico.

CIRCUITO DE SALIDA

Los parámetros fundamentales que deciden el tipo de salida son los dos siguientes:

- Tipo de tensión de la carga c.c. o c.a.
- Valor que puede alcanzar la intensidad de carga.

El componente electrónico utilizado como elemento de potencia, en la salida, dependerá de la aplicación que se le va a dar al relé estático; los más corrientes son: transistor, triac, alternistor, tiristores en antiparalelo, puente de diodos con tiristor, etc.

Transistor

Se emplea cuando el receptor que se va a utilizar como carga funciona a corriente continua, como por ejemplo relés electromagnéticos, contactores, electroválvulas, etc.

Cuando se utilizan estos receptores, altamente inductivos, se debe proteger el transistor de salida del relé estático con un diodo conectado en sentido inverso (fig. 129).

Triac

Se utiliza cuando el receptor que se va a conectar, a la salida, es de corriente alterna.

Generalmente, a este tipo de relés se le conectan cargas resistivas.

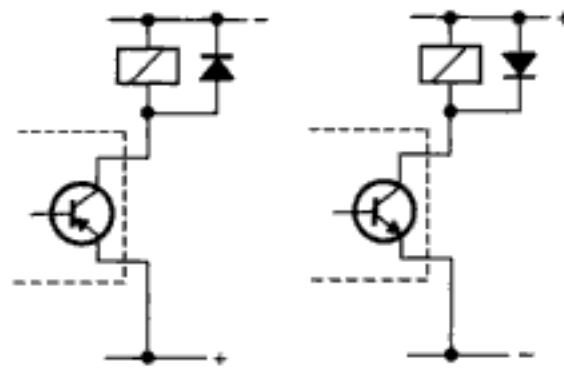


Figura 129. Etapa de salida a transistor (NPN y PNP); obsérvese la protección mediante diodo conectado inversamente.

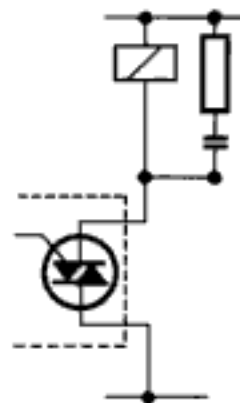


Figura 130. Relé de estado sólido con etapa de salida a triac; en paralelo con el receptor tiene conectado un circuito RC.

Para proteger el triac de salida del relé estático, se utiliza un circuito RC (resistencia y condensador en serie), conectado en paralelo con la carga (figura 130).

Tiristores en antiparalelo

Este es el circuito más utilizado para cualquier tipo de carga, resistiva, inductiva o capacitiva. Es similar al triac (fig. 131).

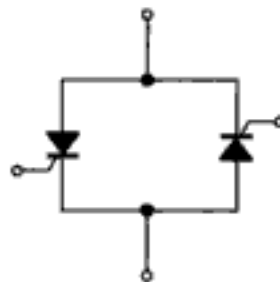


Figura 131. Tiristores conectados en antiparalelo.

Hidden page

En corriente continua: *En corriente alterna:*

De 4 a 6 V	De 100 a 120 V
4 a 32 V	100 a 240 V
5 a 24 V	200 a 240 V
9 a 15 V	
12 a 24 V	
19 a 29 V	

TENSIONES NORMALIZADAS EN EL CIRCUITO DE POTENCIA

En corriente continua: *En corriente alterna:*

De 4 a 60 V	De 40 a 200 V
5 a 200 V	24 a 240 V
40 a 200 V	75 a 264 V
	200 a 480 V

Dentro de estos valores, de entrada y salida, se deberán elegir los más adecuados para la aplicación concreta en función de las tensiones disponibles.

TIPOS DE CONMUTACIÓN

Existen diversos tipos de conmutación del circuito de salida, esto es, cuando el circuito de salida se activa en función de la activación del circuito de entrada. Así, los más generales son:

- Conmutación instantánea.
- Conmutación a paso por cero.
- Conmutación a pico de tensión.
- Conmutación en tensión continua.
- Conmutación con control analógico de entrada.

Conmutación instantánea

En esta conmutación el circuito de salida se activa instantáneamente al activarse el circuito de entrada, independientemente del valor que tenga la onda senoidal, y la desactivación se produce de la misma manera.

Las aplicaciones más características son aquellas en las que la velocidad de conmutación juega un papel muy importante, por ejemplo cargas altamente inductivas como bobinas y control de motores.

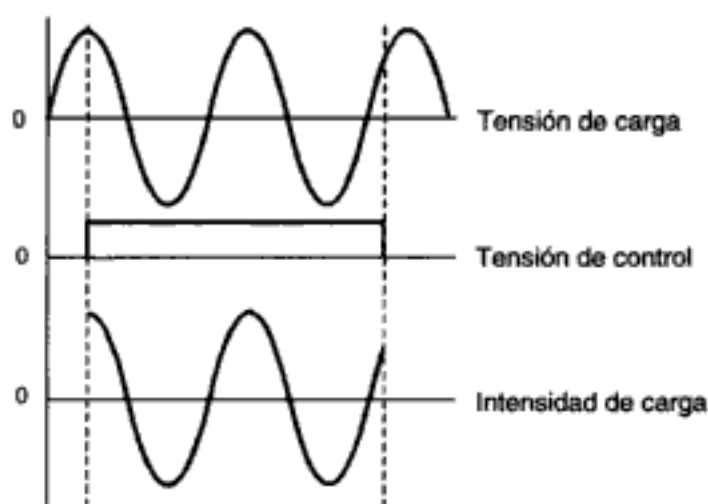


Figura 134. Punto donde se produce la conexión instantánea del circuito de salida en función de la tensión de control.

En la figura 134 se representa gráficamente la activación y desactivación de la salida en función de la entrada, suponiendo un circuito resistivo (tensión e intensidad en fase).

Conmutación a paso por cero

En este tipo de conmutación la salida se activa cuando la tensión pasa por cero, aunque el circuito de control se haya activado antes en cualquier posición distinta de cero, y la desactivación se produce instantáneamente al desactivar el circuito de control.

El retraso en la activación de salida, con respecto a la activación de la entrada es siempre inferior a medio periodo.

Esta conmutación reduce la influencia de las cargas inductivas como bobinas, motores, transformadores, sobre la fuente de alimentación, al reducir la corriente de carga en el momento de la conexión.

En la figura 135 se representa gráficamente este tipo de conmutación, suponiendo un circuito resistivo puro (tensión e intensidad en fase).

Las aplicaciones más características de este tipo de conmutación son en cargas resistivas como resistencias calefactoras, control de iluminación con lámparas incandescentes, etc.

Conmutación a pico de tensión

La salida se activa, en este tipo de conmutación, siempre que encuentra el primer pico de tensión (tensión máxima, sea un semiciclo positivo o negativo), activándose la carga, desfasada, como máximo medio periodo, tiempo que tarda en conectar la salida con respecto a la entrada.

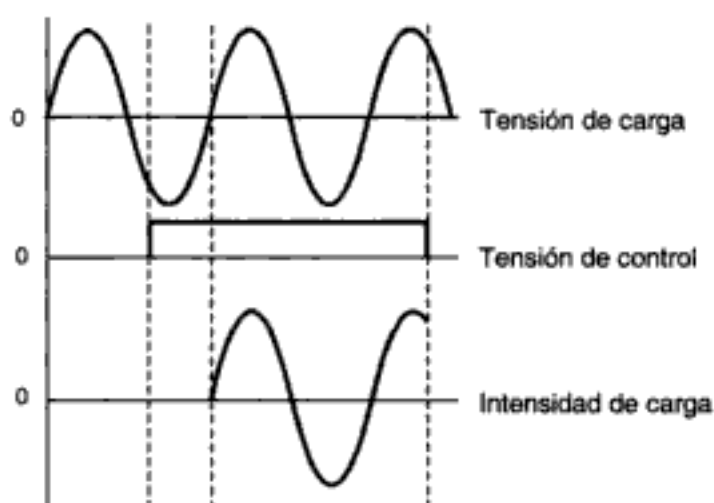


Figura 135. Punto donde se produce la conmutación a paso por cero.

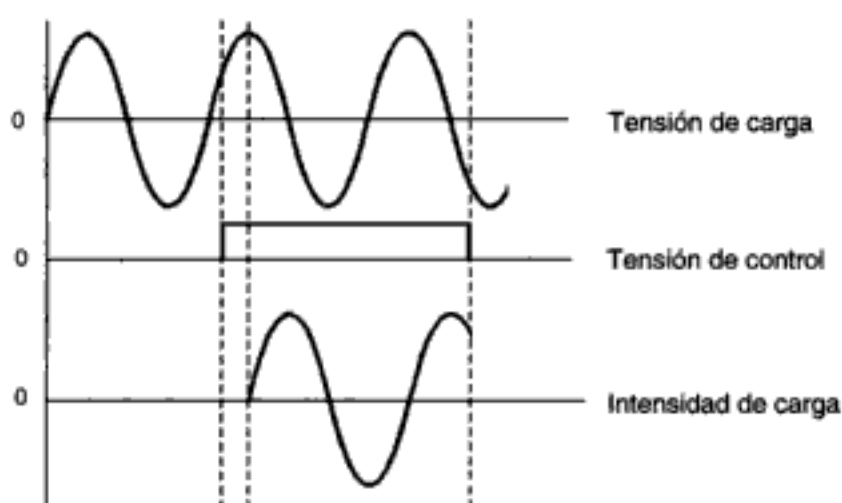


Figura 136. Punto donde se produce la conmutación a pico de tensión.

Siempre quedará desfasada la tensión con respecto a la intensidad, puesto que ésta comienza a conducir desde cero, siendo en ese momento la tensión máxima (fig. 136).

Este tipo de conmutación es ideal para aplicaciones en las que se utilicen cargas inductivas con núcleo de hierro, como por ejemplo el control de transformadores.

Conmutación en tensión continua

La salida se activa al mismo instante que lo hace la entrada; igualmente ocurre con la desconexión (fig. 137).

Sus aplicaciones son en cargas resistivas o inductivas.

Hidden page

Hidden page

PRECAUCIONES AL UTILIZAR UN RELÉ ESTÁTICO

- Asegurarse antes de conectar un relé estático a una carga de que ésta no va a sobrecargar el relé, debiendo tener en cuenta que la corriente que va a circular por el relé estático debe ser siempre inferior a la corriente máxima que admite dicho relé.
- Comprobar que la alimentación del circuito de entrada y de salida corresponden con las del relé que se va a conectar.
- Proteger el relé estático, como cualquier elemento semiconductor, con fusibles de fusión rápida o ultrarrápida y con varistores para evitar que sobretensiones y sobrecorrientes externas lo afecten. Algunos fabricantes montan varistores en el interior de los relés; aquéllos deben tener un valor en amperios inferior a la corriente máxima del relé estático que se protege.
- Evitar, en lo posible, que los conductores del relé estático sean instalados bajo la misma canalización que líneas de alta tensión o potencia, que producirán a veces un funcionamiento anormal del relé estático.
- Cuando se utilicen cargas altamente inductivas, se deberá conectar en paralelo con éstas un diodo de libre circulación para absorber la fuerza contraelectromotriz de las cargas.
- Aunque las medidas físicas, hasta un calibre de 40 A son las mismas y están normalizadas, al sustituir un relé de estado sólido averiado por uno nuevo de distinto fabricante, se debe tener en cuenta la intensidad que soporta y la tensión, tanto de control como de salida, para elegir el similar al reemplazado.

COMPROBACIÓN DEL ESTADO DE UN SSR ANALÓGICO

Uno de los problemas que generalmente se encuentra el técnico de la industria, es conocer el estado de un SSR, sobre todo cuando tiene una avería en la máquina y sospecha del funcionamiento del SSR. Como quiera que no siempre puede utilizar la entrada analógica de la máquina donde está instalado, se tendrá que realizar un sencillo montaje, exterior a la máquina, y comprobar el buen funcionamiento del relé analógico.

Primero, se precisa una fuente de alimentación y un potenciómetro en serie con la entrada de control del SSR analógico, para provocar una circulación controlada de intensidad, que es en realidad lo que se pretende (fig. 143).

Una vez realizado el esquema, se conecta a tensión la fuente de alimentación, se modifica el valor del potenciómetro, comenzando desde cero, y se observa, en el caso de estar bien el SSR, que la lámpara conectada en el circuito de salida irá iluminándose progresivamente desde mínima hasta máxima luminosidad.

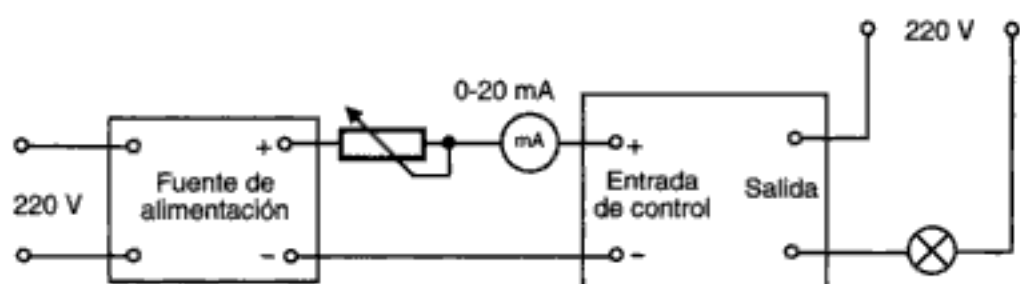


Figura 143. Esquema para comprobar el funcionamiento de un SSR analógico.

Utilizando una fuente de alimentación de 12 V, el potenciómetro debe tener una resistencia de 1.500 Ω aproximadamente; si se usa una fuente de 24 V, valor más normalizado en el ambiente industrial, debe ser de 2.500 Ω .

Si la lámpara no se ilumina progresivamente al modificar el valor del potenciómetro, es evidente que el SSR analógico está en mal estado.

Hidden page

CONTACTOR ESTÁTICO

Una de las aplicaciones más importantes del triac es usarlo como contactor, bien sea éste monofásico, utilizando un solo equipo de triac y un solo circuito de disparo, o trifásico, empleando tres triacs y tres circuitos de disparo sincronizado para que disparen a la vez.

Contactor estático monofásico

Como todo contactor, dispone de un circuito de mando y otro de potencia (fig. 144).

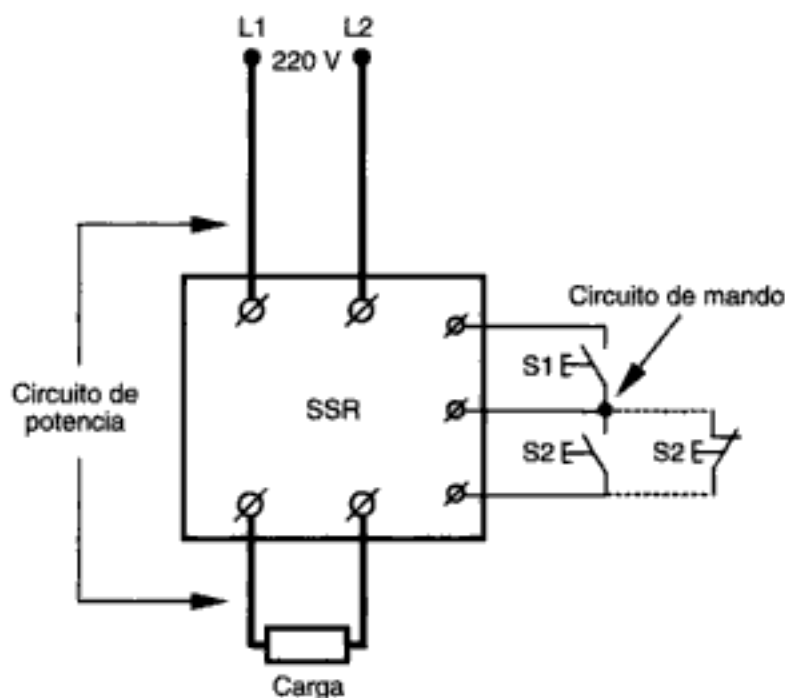


Figura 144. Esquema de conexiones exteriores de un contactor estático monofásico.

El circuito de mando utiliza dos pulsadores, uno para poner en marcha y otro de parada.

El circuito de potencia es la carga que se conecta al contactor estático.

Al accionar el pulsador de marcha, S1, se activa la carga, permaneciendo activada aunque se deje de pulsar S1 debido a que la corriente del condensador C1 se encuentra en cuadratura con la tensión de alimentación (figura 145).

Al accionar el pulsador de parada, S2, normalmente abierto, aunque sea un instante, se cortocircuita la puerta con el electrodo de salida del triac; esto tiene como consecuencia que el triac no conduzca, permaneciendo en esta posición de no conducción hasta que se vuelva a pulsar S1.

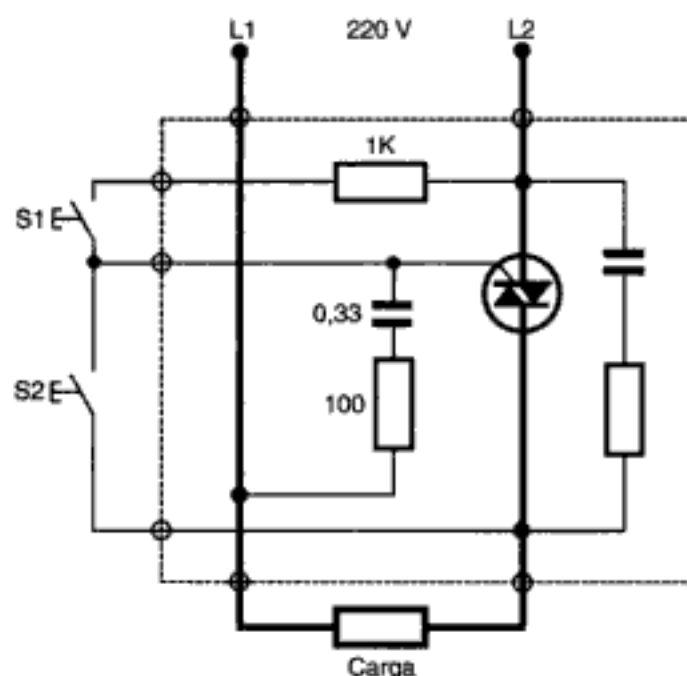


Figura 145. Esquema de conexiones exteriores e interiores de un contactor estático monofásico, con pulsador de parada normalmente abierto.

Si se quiere utilizar un pulsador de parada clásico, es decir, normalmente cerrado, que es el que se acostumbra a emplear en la lógica cableada, el circuito de mando quedaría como indica la figura 146.

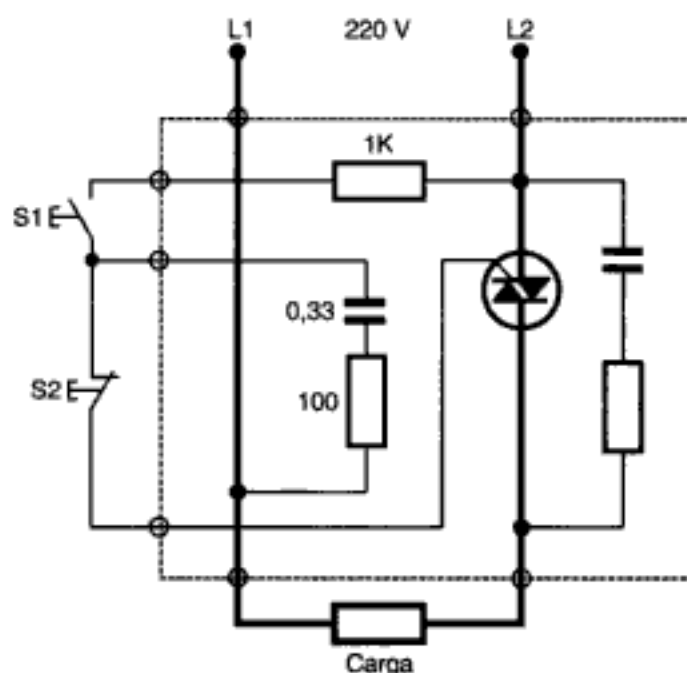


Figura 146. Esquema de conexiones exteriores e interiores de un contactor estático monofásico, con pulsador de parada normalmente cerrado.

Aplicaciones específicas de los relés estáticos

Una de las aplicaciones típicas de los relés estáticos es el control de resistencias calefactoras, utilizadas en calefacción o bien en hornos industriales.

En el control de un horno que utiliza un controlador de temperatura con salida a relé, es decir, todo-nada (on-off), es evidente que cuando se alcanza la temperatura de consigna el controlador de temperatura ordenará parar la fuente de calor; si la histéresis del control de temperatura es pequeña, al bajar la temperatura 1°C se volverá a conectar la fuente de calor, y de nuevo alcanzado el punto de consigna se volverá a desconectar la fuente de calor, y así sucesivamente (fig. 147).

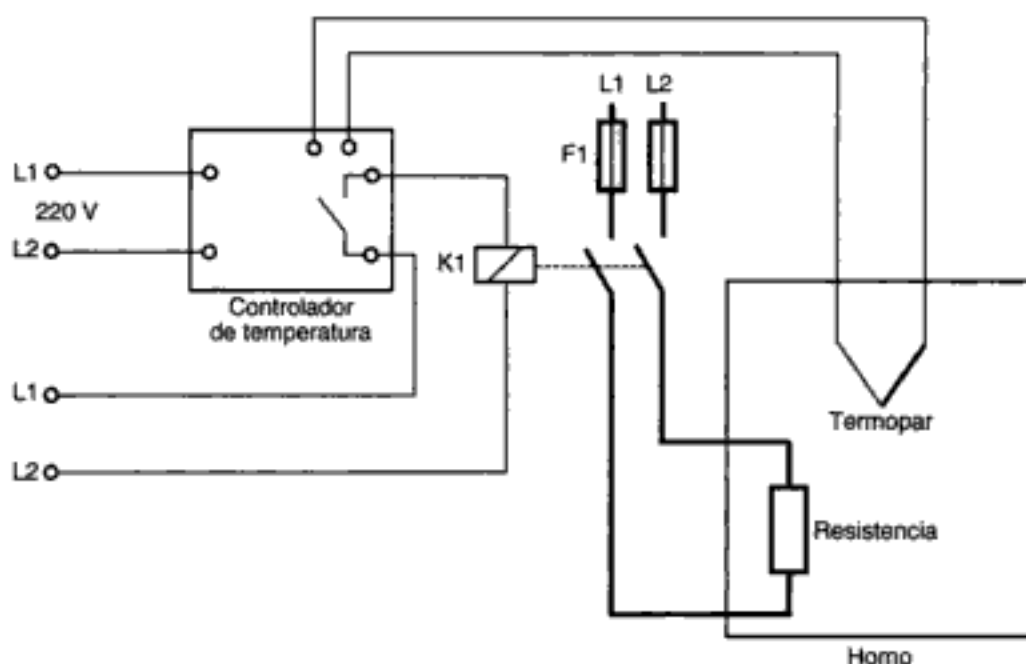


Figura 147. Esquema de conexiones de un horno con controlador de temperatura on-off y contactor.

Si el sistema fuese trifásico, el esquema sería el que se muestra en la figura 148.

Las múltiples maniobras de conexión y desconexión, realizadas en un periodo de tiempo relativamente pequeño, causará el desgaste prematuro de los:

- Contactos del relé de salida del controlador de temperatura.
- Contactos del contactor de la fuente de calor.

Usando un relé de estado sólido y un controlador de temperatura con salida a triac se reducen los problemas de los desgastes prematuros de contactos, al no haber contacto físico para conectar y desconectar la carga (fig. 149).

Hidden page

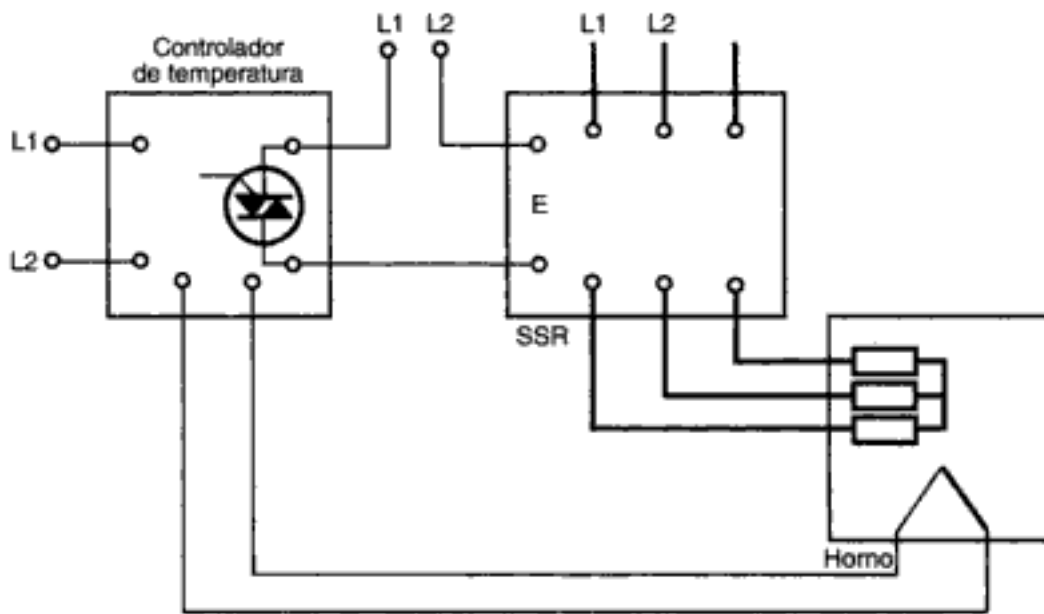


Figura 150. Esquema de un horno que utiliza un relé de estado sólido trifásico.

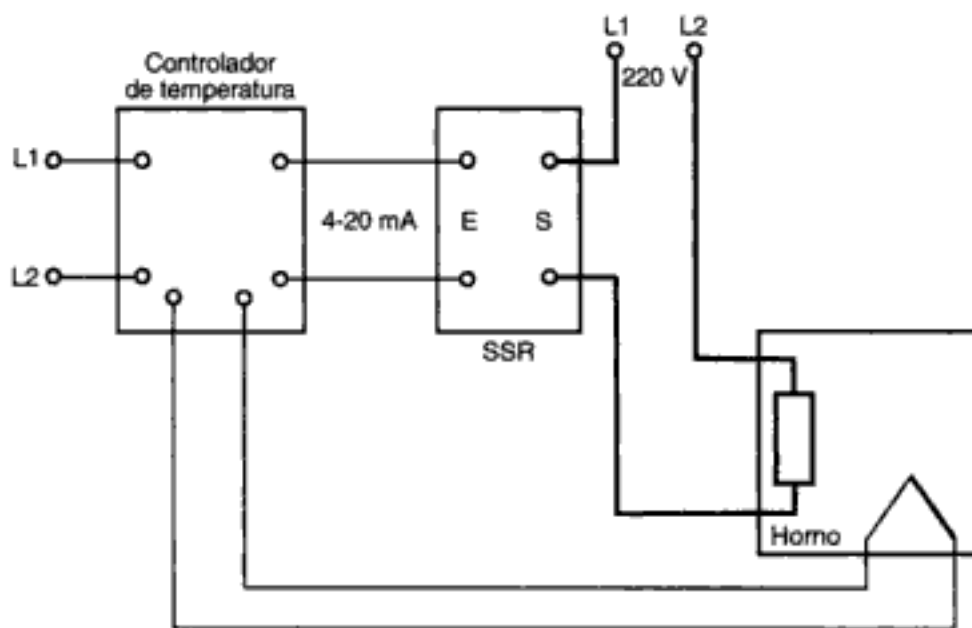


Figura 151. Control de un horno mediante controlador de temperatura y relé estático analógico.

Con todo esto se consigue un mayor aprovechamiento de la energía, puesto que consumirá la que realmente necesita en cada momento, una mayor estabilidad de la temperatura y un nulo desgaste de piezas móviles (contactos), así como un control procedente de otros equipos electrónicos: convertidores de frecuencia, autómatas, fotocélulas, etc. (fig. 151).

12. Relés estáticos trifásicos

Los relés estáticos trifásicos se emplean en sustitución de los contactores consiguiendo así aumentar las prestaciones de éstos; las aplicaciones más usuales son motores, transformadores, resistencias trifásicas, etc. (fig. 152).

Entre sus grandes ventajas se pueden enumerar:

- Mayor frecuencia de conmutación por segundo.
- Aislamiento galvánico entre el circuito de entrada y el de salida, lo que proporciona gran inmunidad al ruido.
- Mayores prestaciones en el control de máquinas, pudiéndose comunicar con otros controles electrónicos.
- Gran protección contra vibraciones.
- Una muy larga vida de funcionamiento al no existir movimiento físico de contactos.

CONSTITUCIÓN

Un relé estático trifásico está constituido por tres relés monofásicos, que conectan el circuito de potencia a las tres fases y la salida del relé estático al motor.

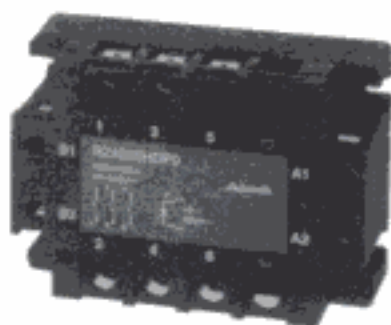


Figura 152. Relé estático trifásico. (Cortesía Carlo Gavazzi Electromatic.)

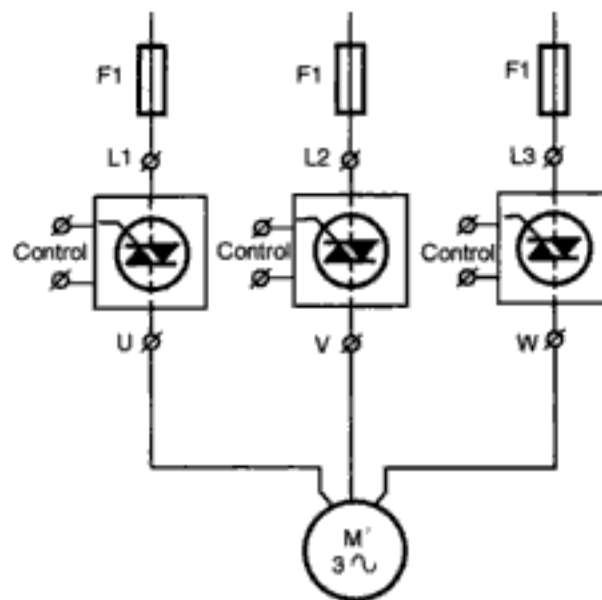


Figura 153. Contactor estático formado por tres relés estáticos monofásicos.

Los circuitos de control de los tres relés estáticos se conectan en paralelo para que disparen a la vez y conduzcan los tres triacs al mismo tiempo, consiguiendo con ello una perfecta armonización en la conducción de la corriente a través de los relés estáticos (fig. 153).

En la práctica se utiliza un relé compacto, es decir, los tres relés estáticos monofásicos montados en una misma cápsula y las conexiones de los tres circuitos de control, conectados en paralelo, saliendo al exterior sólo dos bornes para conectar la tensión de control, borne A1 y A2 (fig. 154).

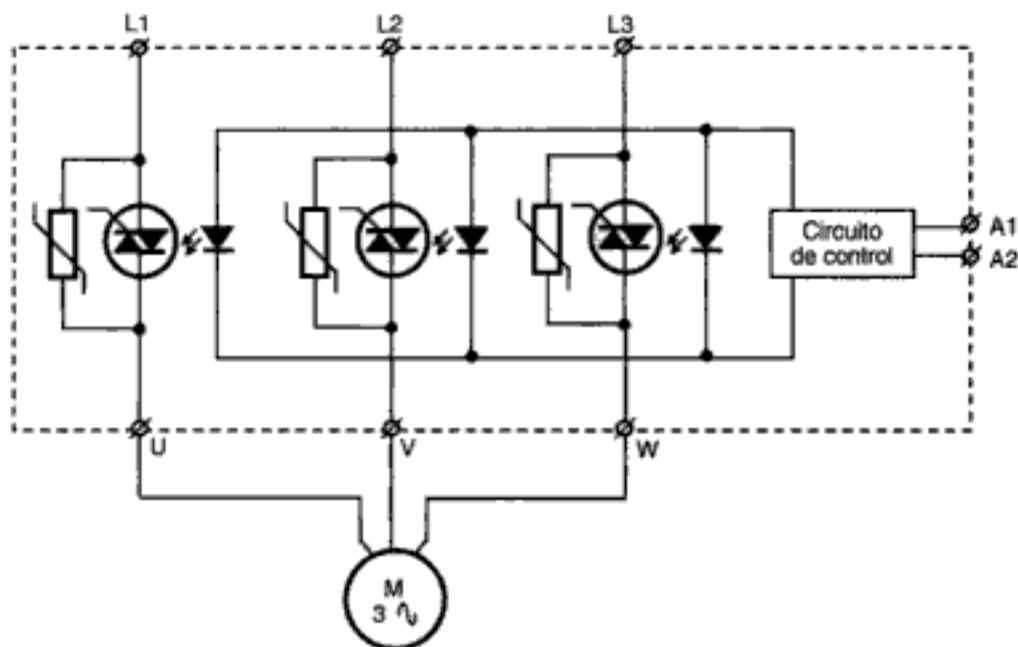


Figura 154. Esquema de principio de un relé estático trifásico para utilizar como contactor.

Hidden page

Hidden page

CV	kW	220 V			380 V		
		3.000 r.p.m.	1.500 r.p.m.	1.000 r.p.m.	3.000 r.p.m.	1.500 r.p.m.	1.000 r.p.m.
0,33	0,25	1,25	1,4	1,6	0,75	0,8	0,95
0,5	0,37	1,75	1,9	2,15	1	1	1,25
0,75	0,55	2,4	2,6	2,75	1,5	1,5	1,5
1	0,75	3,15	3,4	3,7	1,8	1,9	2
1,5	1,1	4,3	5	5	2,5	3	3
2	1,5	6	6,5	7	3,5	4	4
3	2,2	8,3	9	10	5	5	4
4	3	11	12	12	6	7	7
5,5	4	14	15	16	8	9	9
7,5	5,5	19	20	21	11	12	13
10	7,5	25	27	28	15	15	16
15	11	36	38	40	21	22	23
20	15	48	51	53	28	29	31
25	18,5	59	60	62	34	35	36
30	22	71	70	73	41	41	42
40	30	97	97	97	55	56	56
50	37	116	119	119	67	69	69
60	45	142	146	147	81	84	85
75	55	173	170	173	99	98	100
100	75	236	233	238	134	134	138

Protección del relé estático

Como quiera que al conectar y desconectar una carga, se producen grandes picos de tensiones transitorias, especialmente si la carga son motores o transformadores, es decir, cargas altamente inductivas, los relés estáticos llevan instalados interiormente varistores que mejoran y suprimen esos picos transitorios de tensión.

En caso de que no lleven instalados interiormente varistores, éstos se deben montar exteriormente, según indica la figura 157.

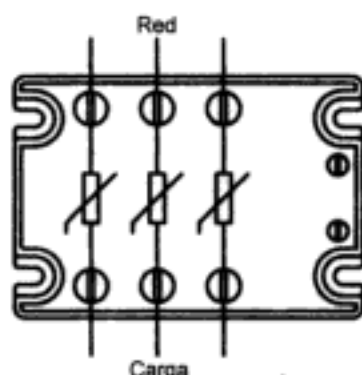


Figura 157. Relé estático con varistores instalados exteriormente. (Cortesía Carlo Gavazzi Electromatic.)

ELECCIÓN DE UN RELÉ ESTÁTICO EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN

Para la elección de un relé estático no existe una norma que sea rigurosa; ahora bien, la experiencia demuestra el comportamiento de éstos frente a los diferentes tipos de carga; por ello, como resumen se puede utilizar la siguiente tabla, que aunque sólo sea como orientación tiene validez para casi todas las aplicaciones:

<i>Tipos de conmutación</i>	<i>Aplicaciones</i>	
Paso por cero	En general	Cargas resistivas Lámparas incandescentes Resistencias calefactoras
	Cargas capacitivas	
Conexión instantánea	En general	Motores Inductancias Relés (bobinas)
Paso por picos de tensión	Transformadores (núcleos cerrados) Resistencias calefactoras	
Control del ángulo de fase (analógica)	Cargas resistivas Cargas capacitivas	
Conmutación a c.c.	En general cargas resistivas e inductivas	Resistencias calefactoras Bobinas

REFRIGERADORES DE CALOR

Como el relé de estado sólido es un elemento semiconductor, al funcionar se produce un aumento de temperatura que, si sobrepasa el valor máximo que puede soportar, provocará la destrucción del relé estático; por ello, se le debe instalar un disipador de calor para que palie en gran medida dicho aumento de temperatura.

Hidden page

El libro trata de los convertidores de frecuencia o variadores de velocidad de motores de c.a. que tanto han proliferado en la industria.

Introduce al lector en conceptos generales de máquinas para poder abordar con soltura los distintos parámetros de los convertidores, explicando con detalle cada uno de ellos, ya que deben conocerse antes de programar un convertidor de frecuencia, cualquiera que sea el fabricante.

Un capítulo se dedica a los arrancadores estáticos, llamados también arrancadores suaves, que han llenado la industria desplazando a los clásicos sistemas de arranque de motores.

Asimismo, un capítulo trata de los SSR, relés de estado sólido, tanto trifásicos como monofásicos, sustitutos, con claras ventajas, de los relés electromecánicos convencionales.

Detalla en profundidad las conexiones que ha de efectuar el usuario, tanto de potencia como de control, para conseguir adaptar el convertidor de frecuencia a las necesidades de la máquina.

Este libro está recomendado para todos aquellos que pretendan estar al día en las últimas tecnologías que utiliza actualmente la industria y, en especial, a ingenieros de proyectos, jefes de mantenimiento, electricistas, profesores y alumnos de ingeniería y de formación profesional.



EL AUTOR

Manuel Álvarez Pulido es en la actualidad Profesor Técnico en el Instituto de Enseñanza Secundaria "Sáenz de Buruaga", de Mérida. Desde 1988 desarrolla la función de Director Técnico en Bobimex, empresa dedicada a la fabricación y reparación de máquinas eléctricas y a la comercialización de equipos electrónicos para la automatización de industrias.

Ha impartido numerosos cursos de autómatas programables a personal técnico de mantenimiento de instalaciones industriales y, en el Centro de Profesores, conferencias sobre alternadores para grupos electrógenos en escuelas universitarias y en institutos de formación profesional.

Tiene patentado un equipo electrónico consistente en un arrancador integrado para motores eléctricos en conexión estrella-triángulo.

Además de la presente obra y artículos en revistas, es autor de varias publicaciones relacionadas con los grupos electrógenos y los automatismos.

ISBN 84-267-1268-1



9 788426 712684