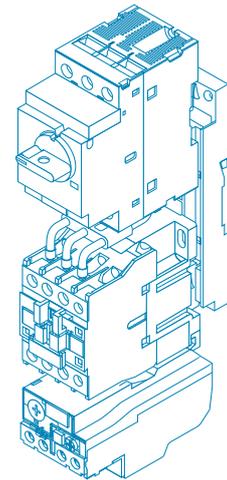


Capítulo 1

El control de potencia es una de las cuatro funciones que conforman la estructura de un automatismo. Su función básica consiste en establecer o interrumpir la alimentación de los receptores siguiendo las órdenes de la unidad de proceso de datos. Dichas órdenes se elaboran a partir de la información procedente de los captadores (función de adquisición de datos) y de los órganos de mando (función de diálogo hombre-máquina).



Entre los receptores más utilizados para el accionamiento de máquinas se encuentran los motores eléctricos asíncronos de jaula. Los equipos de control de potencia destinados a controlarlos, normalmente llamados arrancadores, realizan las funciones de seccionamiento, protección y conmutación. Se pueden clasificar en tres familias:

- arrancadores “todo o nada”: el motor suele arrancar con sus características propias y el régimen de velocidad establecido es constante,
- arrancadores basados en arrancadores electrónicos: la aceleración y la deceleración están controladas y el régimen de velocidad establecido es constante,
- arrancadores basados en variadores de velocidad electrónicos: el arranque y la parada están controlados y la velocidad depende de una consigna.

Control de potencia

Funciones y constitución de los arrancadores

El seccionamiento	página	8
La protección	página	9
La conmutación	página	9

Seccionamiento

El seccionador	página	10
El interruptor y el interruptor seccionador	página	11
El interruptor seccionador modular	página	11

Protección contra los cortocircuitos

Los fusibles	página	12
Los disyuntores magnéticos	página	14

Protección contra las sobrecargas

Los relés térmicos de biláminas	página	15
Los relés con sondas de termistancias PTC	página	19
Los relés electromagnéticos de máxima corriente	página	20
Protección de motores de arranque prolongado	página	20
Los relés temporizadores térmicos	página	21
Relés de control y de medida	página	22

Conmutación todo o nada

El contactor electromagnético	página	23
El contactor de bajo consumo	página	32
Los relés y los contactores estáticos	página	33

Asociación de aparatos: la coordinación

Definición de la coordinación	página	34
Coordinación de tipo 1 y de tipo 2	página	34
Coordinación total	página	34
Ejemplo de asociación	página	34

Aparatos de funciones múltiples

Arrancadores con aparatos de funciones múltiples	página	36
El contactor disyuntor	página	37
El disyuntor motor magnético	página	39
El disyuntor motor magnetotérmico	página	39
Elección de un disyuntor: la selectividad	página	43
Protección de los circuitos de control y de los circuitos auxiliares	página	43

Componentes modulares

Contactores modulares	página	44
Contactores disyuntores de instalación	página	45
Otros componentes modulares	página	45

Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos

Principales tipos de variadores	página	46
Principales funciones de los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos	página	47
Composición	página	48
Principales modos de funcionamiento	página	49
Convertidor de frecuencia para motor asíncrono	página	50
Regulador de tensión para motor asíncrono	página	51

Elección de un contactor

Criterios de elección de un contactor	página	52
Ejemplos de elección en función de las aplicaciones	página	53

Elección de un variador

página	62
--------	----

Elección de un dispositivo de protección

página	64
--------	----

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Funciones y constitución de los arrancadores

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. De la elección de éstos depende el rendimiento de toda la instalación: nivel de protección, funcionamiento con velocidad constante o variable, etc.

El arrancador garantiza las siguientes funciones:

- *seccionamiento,*
- *protección contra cortocircuitos y sobrecargas,*
- *conmutación.*

El seccionamiento

Para manipular las instalaciones o las máquinas y sus respectivos equipos eléctricos con total seguridad, es necesario disponer de medios que permitan aislar eléctricamente los circuitos de potencia y de control de la red de alimentación general.

Esta función, llamada seccionamiento, corresponde a:

- **aparatos específicos:** seccionadores o interruptores seccionadores,
- **funciones de seccionamiento integradas** en aparatos con funciones múltiples.

Obsérvese que en los equipos con varios arrancadores no siempre es necesario añadir un seccionador a cada arrancador. Sin embargo, conviene tener siempre dispuesto un mando de aislamiento general que permita aislar todo el equipo.



Equipo con seccionador, cortacircuito de fusibles y contactores

La protección

Todos los receptores pueden sufrir accidentes:

De origen eléctrico:

- sobretensión, caída de tensión, desequilibrio o ausencia de fases que provocan un aumento de la corriente absorbida,
- cortocircuitos cuya intensidad puede superar el poder de corte del contactor.

De origen mecánico:

- calado del rotor, sobrecarga momentánea o prolongada que provocan un aumento de la corriente que absorbe el motor, haciendo que los bobinados se calienten peligrosamente.

Con el fin de que dichos accidentes no dañen los componentes ni perturben la red de alimentación, todos los arrancadores deben incluir obligatoriamente:

- **protección contra los cortocircuitos**, para detectar y cortar lo antes posible las corrientes anómalas superiores a $10 I_n$,
- **protección contra las sobrecargas**, para detectar los aumentos de corriente hasta $10 I_n$ y cortar el arranque antes de que el recalentamiento del motor y de los conductores dañe los aislantes.

Si es necesario, se pueden añadir protecciones complementarias como el control de fallos de aislamiento, de inversión de fases, de temperatura de los bobinados, etc.

La protección corresponde a:

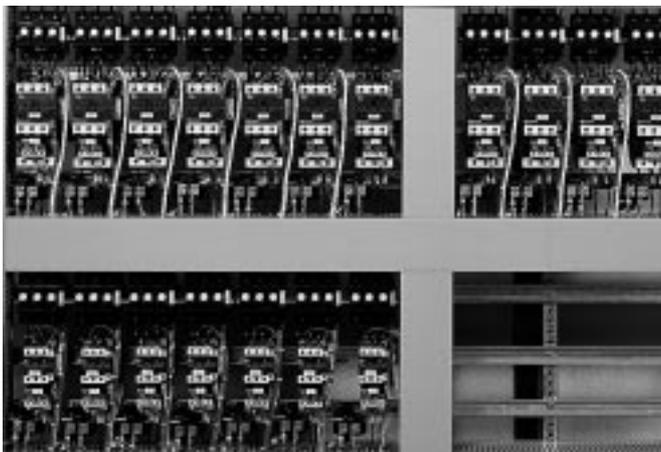
- **aparatos específicos**: seccionadores portafusibles, disyuntores, relés de protección y relés de medida,
- **funciones específicas integradas** en los aparatos de funciones múltiples.

La conmutación

La conmutación consiste en establecer, cortar y, en el caso de la variación de velocidad, ajustar el valor de la corriente absorbida por un motor.

Según las necesidades, esta función puede realizarse con aparatos,

- **electromecánicos**: contactores, contactores disyuntores y disyuntores motores,
- **electrónicos**: relés y contactores estáticos, arrancadores ralentizadores progresivos, variadores y reguladores de velocidad.



Arrancadores con contactores LC1-D y relés térmicos LR2-D

Seccionamiento

Los equipos eléctricos sólo se deben manipular cuando están desconectados.

El seccionamiento consiste en aislar eléctricamente una instalación de su red de alimentación, según los criterios de seguridad que establecen las normas.

El seccionamiento se puede completar con una medida de protección adicional, el enclavamiento, un dispositivo de condenación del seccionador en posición abierta que impide que la instalación se vuelva a poner bajo tensión de forma imprevista, garantizando así la seguridad de las personas y de los equipos.

La función de seccionamiento se realiza con:

- seccionadores,
- interruptores seccionadores,
- disyuntores y contactores disyuntores, siempre que el fabricante certifique que son aptos para dicha función.

En el apartado "Aparatos de funciones múltiples" se describen los aparatos con la función seccionamiento integrada, como los disyuntores o los contactores disyuntores.

El seccionador

"El seccionador es un aparato mecánico de conexión que en posición abierta cumple las prescripciones especificadas para la función de seccionamiento" (norma IEC 947-3).

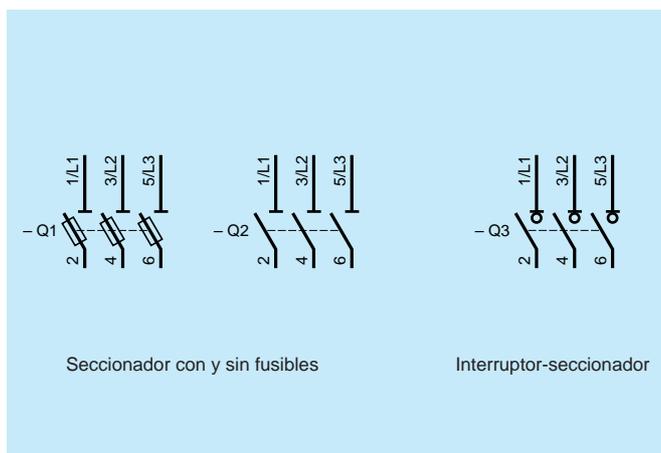
Sus principales elementos son un bloque tripolar o tetrapolar, uno o dos contactos auxiliares de precorte y un dispositivo de mando lateral o frontal que permite cerrar y abrir los polos manualmente.

La velocidad de cierre y de apertura dependen de la rapidez de accionamiento del operario (maniobra manual dependiente). Por tanto, el seccionador es un aparato de "ruptura lenta" que nunca debe utilizarse con carga. La corriente del circuito debe cortarse previamente con un aparato de conmutación previsto a tal efecto (normalmente un contactor).

El contacto auxiliar de precorte se conecta en serie con la bobina del contactor. Se abre antes y se cierra después que los polos del seccionador, por lo que en caso de manipulación accidental con carga, interrumpe la alimentación de la bobina del contactor antes de que se abran los polos del seccionador. Sin embargo, los contactos de precorte no deben considerarse como un mando de control del contactor, que dispone de su propio mando de Marcha/Paro. El estado de los contactos debe indicarse de forma segura mediante la posición del dispositivo de control, mediante un indicador mecánico independiente (corte plenamente aparente) o permitiendo que los contactos estén visibles (corte visible). En ningún caso se podrá enclavar el seccionador cuando esté en posición cerrada o cuando sus contactos se hayan soldado accidentalmente.

Se puede añadir a los seccionadores portafusibles en sustitución de los tubos o de las barretas de seccionamiento.

	Seccionador	Interruptor	Interruptor seccionador
Manipulación en carga	no	sí	sí
Aislamiento en posición "O"	sí	no	sí



Símbolos de los seccionadores y de los interruptores seccionadores



Seccionador

El interruptor y el interruptor seccionador

“El interruptor es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, tolerar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones especificadas de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes dentro de un circuito en las condiciones anómalas especificadas, como en caso de un cortocircuito” (norma IEC 947-3).

El mecanismo vinculado al dispositivo de mando manual garantiza la apertura y el cierre brusco de los contactos, independientemente de la velocidad de accionamiento del operario. Por lo tanto, el interruptor está diseñado para ser manejado con carga con total seguridad. Sus características se basan en las categorías de empleo normativas utilizadas para clasificar los circuitos cuya alimentación resulta más o menos difícil de establecer o interrumpir en función del tipo de receptores utilizados.

Los interruptores que cumplan las condiciones de aislamiento especificadas en las normas para los seccionadores son **interruptores seccionadores**, aptitud que el fabricante debe certificar marcando el aparato con un símbolo (1).

Al igual que los seccionadores, los interruptores y los interruptores seccionadores se pueden completar con un dispositivo de enclavamiento para el enclavamiento y, según el caso, con fusibles.

El interruptor seccionador modular

Esta nueva generación de interruptores seccionadores se caracteriza por la posibilidad de completar y modificar la composición de los aparatos básicos, para adaptarlos con la mayor precisión a nuevas necesidades, utilizando los siguientes módulos adicionales:

- polos de potencia,
- polos neutro de cierre anticipado y de apertura retardada,
- barretas de tierra,
- contactos auxiliares de cierre y de apertura,
- bloques de conexión reversibles que permiten cablear desde la parte frontal o posterior.

Los interruptores seccionadores de mando giratorio ampliables con módulos pueden realizar las funciones de interruptor principal, de paro de emergencia o de control manual de los motores.

(1) Aptitud para el seccionamiento.

La aptitud para el seccionamiento se define por la distancia de apertura de los contactos o la resistencia a una onda de choque U_{imp} , y por la posición no equívoca del mando de control, incluidos los contactos soldados (si los contactos están soldados, el mando de control no se puede poner en posición de “paro”).



Interruptores seccionadores de mando giratorio



Interruptor seccionador ampliable con módulos

Protección contra los cortocircuitos

Un cortocircuito es el contacto directo de dos puntos con potenciales eléctricos distintos:

- en corriente alterna: contacto entre fases, entre fase y neutro o entre fases y masa conductora,
- en corriente continua: contacto entre los dos polos o entre la masa y el polo aislado.

Las causas pueden ser varias: cables rotos, flojos o pelados, presencia de cuerpos metálicos extraños, depósitos conductores (polvo, humedad, etc.), filtraciones de agua o de otros líquidos conductores, deterioro del receptor o error de cableado durante la puesta en marcha o durante una manipulación.

El cortocircuito desencadena un brutal aumento de corriente que en milésimas de segundo puede alcanzar un valor cien veces superior al valor de la corriente de empleo. Dicha corriente genera efectos electrodinámicos y térmicos que pueden dañar gravemente el equipo, los cables y los juegos de barras situados aguas arriba del punto de cortocircuito. Por lo tanto, es preciso que los dispositivos de protección detecten el fallo e interrumpan el circuito rápidamente, a ser posible antes de que la corriente alcance su valor máximo.

Dichos dispositivos pueden ser:

- fusibles, que interrumpen el circuito al fundirse, por lo que deben ser sustituidos,
- disyuntores, que interrumpen el circuito abriendo los polos y que con un simple rearme se pueden volver a poner en servicio.

La protección contra los cortocircuitos puede estar integrada en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores y los contactores disyuntores, que se describen en el apartado "Aparatos de funciones múltiples".

Los fusibles

Los fusibles proporcionan una protección fase a fase, con un poder de corte muy elevado y un volumen reducido. Se pueden montar de dos maneras:

- en unos soportes específicos llamados portafusibles,
- en los seccionadores, en lugar de los casquillos o las barretas.

Se dividen en dos categorías:

Fusibles "distribución" tipo gG (1)

Protegen a la vez contra los cortocircuitos y contra las sobrecargas a los circuitos con picos de corriente poco elevados (ejemplo: circuitos resistivos).

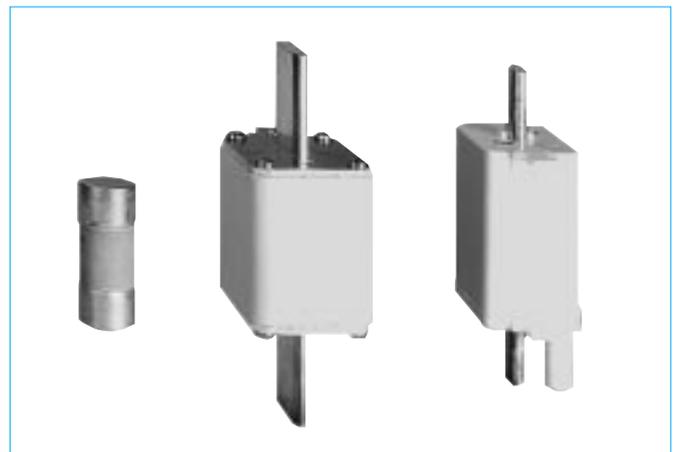
Normalmente deben tener un calibre inmediatamente superior a la corriente del circuito protegido a plena carga.

Fusibles "motor" tipo aM

Protegen contra los cortocircuitos a los circuitos sometidos a picos de corriente elevados (picos magnetizantes en la puesta bajo tensión de los primarios de transformadores o electroimanes, picos de arranque de motores asíncronos, etc.). Las características de fusión de los fusibles aM "dejan pasar" las sobreintensidades, pero no ofrecen ninguna protección contra las sobrecargas. En caso de que también sea necesario este tipo de protección, debe emplearse otro dispositivo (por ejemplo, un relé térmico).

Normalmente deben tener un calibre inmediatamente superior a la corriente del circuito protegido a plena carga.

(1) La norma IEC 269-2 ha cambiado la denominación "tipo g" por "tipo gG".



Cortocircuitos fusibles

Dispositivo de protección contra funcionamiento monofásico (dpfm)

Se puede instalar en un portafusibles multipolar o en un seccionador portafusibles. Requiere fusibles con percutor (o indicadores de fusión).

Se trata de un dispositivo mecánico que se acciona mediante el percutor liberado cuando se funde un fusible. Controla la apertura de un contacto conectado en serie con la bobina del contactor. De este modo, queda garantizada la caída del contactor, es decir, la desconexión del receptor, incluso si sólo se funde un fusible.

También está disponible un contacto de cierre suplementario para señalar el fallo a distancia.

Corriente de cortocircuito presumible I_{cc}

Es el valor eficaz de la corriente simétrica permanente que se establecería en el punto considerado del circuito si se cambiara el dispositivo de protección por un conductor de impedancia despreciable. Este valor depende únicamente de la tensión de alimentación y de la impedancia por fase Z_0 (transformador + línea). Se demuestra que el cálculo de la corriente de cortocircuito trifásica equivale al de la corriente de cortocircuito monofásica establecida entre una fase y el neutro. Es igual al cociente de la tensión simple E_0 (tensión entre fase y neutro) por la impedancia de línea Z_0 por fase. Dicha impedancia de línea incluye las resistencias R y las inductancias L de todos los elementos situados aguas arriba del cortocircuito.

$$\text{impedancia de línea } Z_0 = \sqrt{(\sum R^2) + (\sum L\omega^2)}$$

$$\text{corriente de cortocircuito } I_{cc} = \frac{E_0}{Z_0}$$

Corriente de cortocircuito de un transformador

Es la corriente que suministraría el secundario de un transformador en cortocircuito (cortocircuito atornillado), con una alimentación normal del primario. En caso de cortocircuito en una instalación, este valor de corriente sólo se alcanza si el fallo se produce en las bornas del transformador. En los demás casos, queda limitada a un valor inferior debido a la impedancia de línea.

La siguiente tabla muestra las magnitudes de corriente de cortocircuito para transformadores de fabricación normal con una tensión secundaria de 400 V.

S (kVA)	I_n (A)	I_{cc} (kA)
80	115	3
160	230	6
315	450	12
800	1.150	25
2.500	3.600	50

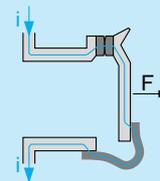
Efectos electrodinámicos

Entre dos conductores paralelos por los que circulan una corriente i_1 e i_2 aparece una fuerza que puede ser de atracción si las corrientes tienen el mismo sentido, y de repulsión si tienen sentidos opuestos. Por norma general, ambos conductores forman parte de un mismo circuito con igual corriente y sentidos opuestos. En tal caso, la fuerza es de repulsión y proporcional al cuadrado de la corriente.

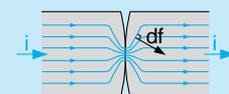
En un juego de barras, la fuerza que aparece entre 2 barras de 1 m de longitud, separadas por 5 cm y atravesadas por una corriente de cresta de 50 kA, alcanza un valor de 1.000 daN o 1 tonelada.

En un polo del contactor, los contactos fijo y móvil se separan sin recibir la orden de apertura en cuanto la fuerza de repulsión supera el valor de la fuerza que ejerce el resorte de compresión. Esta fuerza de repulsión de contacto se debe:

- al efecto de bucle: un polo se presenta como un bucle más o menos perfecto en función de la forma de las piezas que lo conforman y del modelo de contactor; cada pieza del polo está sometida a una fuerza electrodinámica dirigida hacia el exterior del bucle,
- a la estricción de las líneas de corriente en la zona de contacto.



Efecto de bucle



Estricción de las líneas de corriente

Los esfuerzos electrodinámicos provocan en los componentes los siguientes efectos:

- rotura o deformación de las piezas y de los juegos de barras,
- repulsión de los contactos,
- propagación de los arcos eléctricos.

Efectos térmicos

Si se toma un conductor con una resistencia de 1 mΩ por el que circula una corriente eficaz de 50 kA durante 10 ms, la energía disipada de 2.500 julios equivale a una potencia de 250 kW.

En un contactor tripolar cuyos contactos se abren por repulsión generando arcos eléctricos, se puede estimar que la energía disipada es varias veces superior.

Los efectos térmicos de un cortocircuito provocan en los componentes los siguientes efectos:

- fusión de los contactos, de los bobinados de las bilaminas y de las conexiones,
- calcinación de los materiales aislantes.

Los disyuntores magnéticos

Protegen los circuitos contra los cortocircuitos, dentro de los límites de su poder de corte a través de disparadores magnéticos (un disparador por fase). También protegen contra los contactos indirectos, siguiendo las normas sobre regímenes de neutro, para los esquemas TN o IT. Los esquemas TT pueden necesitar una protección diferencial residual (ver los esquemas de los regímenes de neutro en la página 273). Dependiendo del tipo de circuito que se desea proteger (distribución, motor, etc.), el umbral de disparo magnético se situará entre 3 y 15 veces la corriente térmica I_{th} . Dependiendo del tipo de disyuntor, dicho umbral de disparo puede ser fijo o ajustable por el usuario. Todos los disyuntores pueden realizar cortes omnipolares: la puesta en funcionamiento de un solo disparador magnético basta para abrir simultáneamente todos los polos. Cuando la corriente de cortocircuito no es muy elevada, los disyuntores funcionan a mayor velocidad que los fusibles.

Características principales

Poder de corte

Es el valor máximo estimado de corriente de cortocircuito que puede interrumpir un disyuntor con una tensión y en unas condiciones determinadas. Se expresa en kiloamperios eficaces simétricos.

La norma IEC 947-2 define dos valores para el poder de corte de los disyuntores:

- el poder asignado de corte último I_{cu}

Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación una operación de cierre-apertura. Es prácticamente igual al poder de corte I_{cn} ciclo P1 de la norma IEC 157-1.

- el poder asignado de corte de servicio I_{cs}

Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación dos operaciones de cierre-apertura. Es prácticamente igual al poder de corte I_{cn} ciclo P2 de la norma IEC 157-1.

Poder de cierre

Es el valor máximo de corriente que puede establecer un disyuntor con su tensión nominal en condiciones determinadas. En corriente alterna, se expresa con el valor de cresta de la corriente.

El poder de cierre es igual a k veces el poder de corte, según se indica en la siguiente tabla (IEC 947-2).

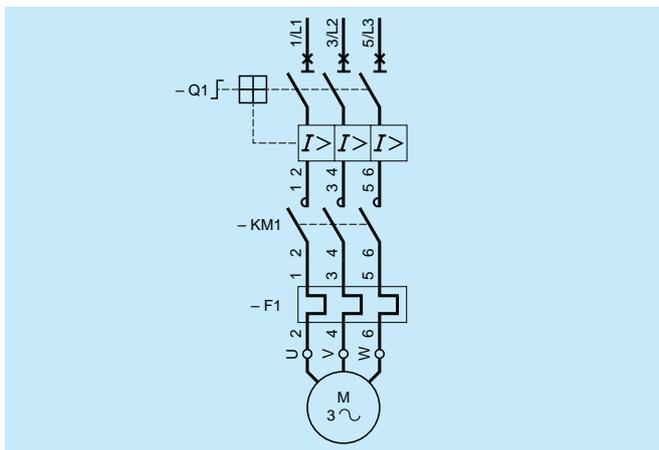
PdCo	$\cos \phi$	PdCi
$4,5 \text{ kA} < PdCo \leq 6 \text{ kA}$	0,7	1,5 PdCo
$6 \text{ kA} < PdCo \leq 10 \text{ kA}$	0,5	1,7 PdCo
$10 \text{ kA} < PdCo \leq 20 \text{ kA}$	0,3	2 PdCo
$20 \text{ kA} < PdCo \leq 50 \text{ kA}$	0,25	2,1 PdCo
$50 \text{ kA} < PdCo$	0,2	2,2 PdCo

Autoprotección

Es la aptitud que posee un aparato para limitar la corriente de cortocircuito con un valor inferior a su propio poder de corte, gracias a su impedancia interna.

Poder de limitación

Un disyuntor es además limitador cuando el valor de la corriente que realmente se interrumpe en caso de fallo es muy inferior al de la corriente de cortocircuito estimado. La limitación de la corriente de cortocircuito depende de la velocidad de apertura del aparato y de su capacidad para generar una tensión de arco superior a la tensión de la red. Permite atenuar los efectos térmicos y electrodinámicos, proporcionando así una mejor protección a los cables y al aparellaje.



Arranador con disyuntor magnético



Disyuntores magnéticos Compact y GV2-L

Protección contra las sobrecargas

Los fallos más habituales en las máquinas son las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la corriente absorbida por el motor y de ciertos efectos térmicos. El calentamiento normal de un motor eléctrico con una temperatura ambiente de 40 °C depende del tipo de aislamiento que utilice. Cada vez que se sobrepasa la temperatura límite de funcionamiento, los aislantes se desgastan prematuramente, acortando su vida útil. Por ejemplo, cuando la temperatura de funcionamiento de un motor en régimen permanente sobrepasa en 10 °C la temperatura definida por el tipo de aislamiento, la vida útil del motor se reduce un 50%.

Conviene señalar, no obstante, que cuando se produce un calentamiento excesivo como consecuencia de una sobrecarga, los efectos negativos no son inmediatos, siempre que ésta tenga una duración limitada y no se repita muy a menudo. Por lo tanto, no conlleva necesariamente la parada del motor, sin embargo, es importante recuperar rápidamente las condiciones de funcionamiento normales.

De todo lo expuesto se deduce que la correcta protección contra las sobrecargas resulta imprescindible para:

- optimizar la durabilidad de los motores, impidiendo que funcionen en condiciones de calentamiento anómalas,
- garantizar la continuidad de explotación de las máquinas o las instalaciones evitando paradas imprevistas,
- volver a arrancar después de un disparo con la mayor rapidez y las mejores condiciones de seguridad posibles para los equipos y las personas.

El sistema de protección contra las sobrecargas debe elegirse en función del nivel de protección deseado:

- relés térmicos de biláminas,
- relés de sondas para termistancias PTC,
- relés de máxima corriente,
- relés electrónicos con sistemas de protección complementarios.

Esta protección también puede estar integrada en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores o los contactores disyuntores que se describen en el apartado "Aparatos de funciones múltiples".

Los relés térmicos de biláminas

Los relés térmicos de biláminas son los aparatos más utilizados para proteger los motores contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua. Sus características más habituales son:

- tripolares,
- compensados, es decir, insensibles a los cambios de la temperatura ambiente,
- sensibles a una pérdida de fase (1), por lo que evitan el funcionamiento monofásico del motor,
- rearme automático o manual,
- graduación en "amperios motor": visualización directa en el relé de la corriente indicada en la placa de características del motor.

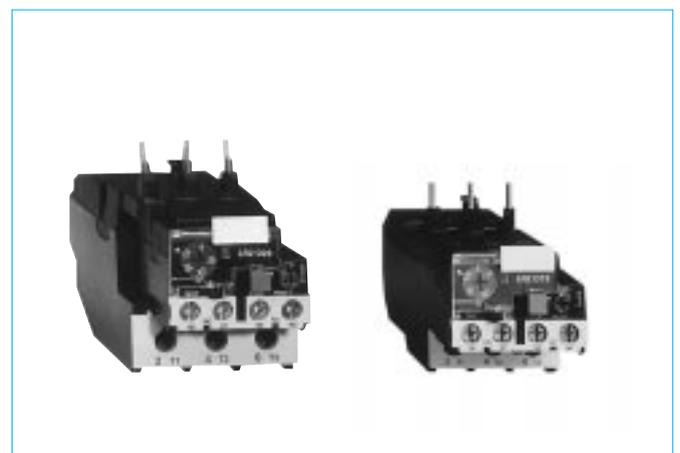
Principio de funcionamiento de los relés térmicos tripolares

Los relés térmicos tripolares poseen tres biláminas compuestas cada una por dos metales con coeficientes de dilatación muy diferentes unidos mediante laminación y rodeadas de un bobinado de calentamiento.

Cada bobinado de calentamiento está conectado en serie a una fase del motor. La corriente absorbida por el motor calienta los bobinados, haciendo que las biláminas se deformen en mayor o menor grado según la intensidad de dicha corriente. La deformación de las biláminas provoca a su vez el movimiento giratorio de una leva o de un árbol unido al dispositivo de disparo.

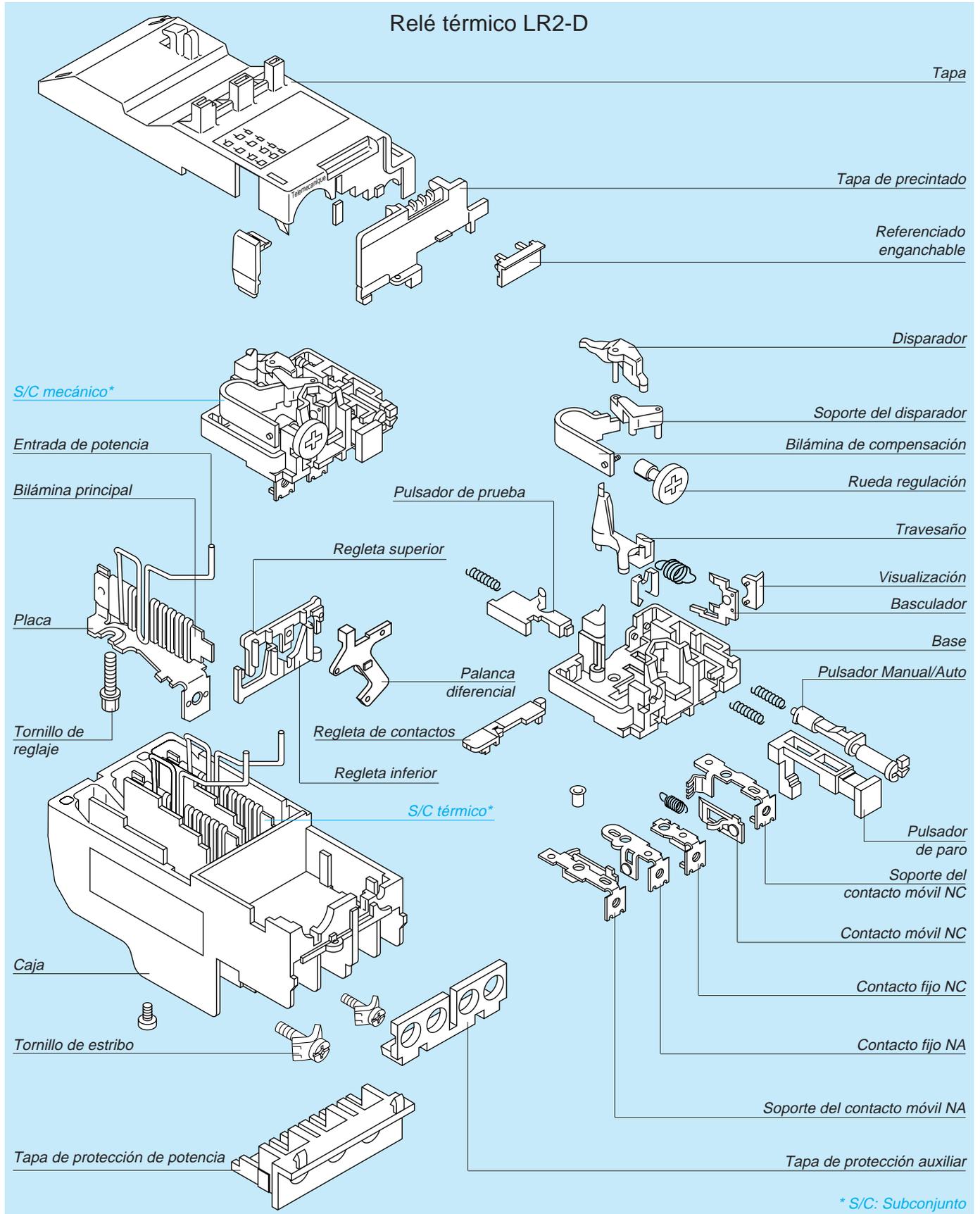
Si la corriente absorbida por el receptor supera el valor de reglaje del relé, las biláminas se deformarán lo bastante como para que la pieza a la que están unidas las partes móviles de los contactos se libere del tope de sujeción. Este movimiento causa la apertura brusca del contacto del relé intercalado en el circuito de la bobina del contactor y el cierre del contacto de señalización. El rearme no será posible hasta que se enfríen las biláminas.

(1) La norma IEC 947-4 sustituye el concepto de "relé diferencial" por el de "relé sensible a una pérdida de fase".



Relés térmicos LR2-D de Telemecanique

Relé térmico LR2-D



* S/C: Subconjunto

Compensación de la temperatura ambiente

La curvatura que adoptan las biláminas no sólo se debe al calentamiento que provoca la corriente que circula en las fases, sino también a los cambios de la temperatura ambiente. Este factor ambiental se corrige con una bilámina de compensación sensible únicamente a los cambios de la temperatura ambiente y que está montada en oposición a las biláminas principales.

Cuando no hay corriente, la curvatura de las biláminas se debe a la temperatura ambiente. Esta curvatura se corrige con la de la bilámina de compensación, de forma tal que los cambios de la temperatura ambiente no afecten a la posición del tope de sujeción. Por lo tanto, la curvatura causada por la corriente es la única que puede mover el tope provocando el disparo.

Los relés térmicos compensados son insensibles a los cambios de la temperatura ambiente, normalmente comprendidos entre -40°C y $+60^{\circ}\text{C}$.

Reglaje

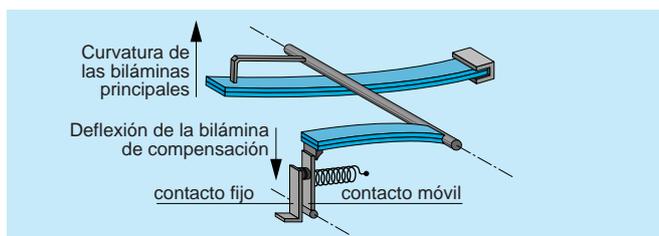
Los relés se regulan con un pulsador que modifica el recorrido angular que efectúa el extremo de la bilámina de compensación para liberarse del dispositivo de sujeción que mantiene el relé en posición armada.

La rueda graduada en amperios permite regular el relé con mucha precisión. La corriente límite de disparo está comprendida entre 1,05 y 1,20 veces el valor indicado.

Detección de una pérdida de fase

Este dispositivo provoca el disparo del relé en caso de ausencia de corriente en una fase (funcionamiento monofásico). Lo componen dos regletas que se mueven solidariamente con las biláminas. La bilámina correspondiente a la fase no alimentada no se deforma y bloquea el movimiento de una de las dos regletas, provocando el disparo.

Los receptores alimentados en corriente monofásica o continua se pueden proteger instalando en serie dos biláminas que permiten utilizar relés sensibles a una pérdida de fase. Para este tipo de aplicaciones, también existen relés no sensibles a una pérdida de fase.



Principio de compensación de la temperatura ambiente



Principio de detección de pérdida de fase

Clases de disparo

Los relés térmicos se utilizan para proteger los motores de las sobrecargas, pero durante la fase de arranque deben permitir que pase la sobrecarga temporal que provoca el pico de corriente, y activarse únicamente si dicho pico, es decir la duración del arranque, resulta excesivamente larga.

La duración del arranque normal del motor es distinta para cada aplicación; puede ser de tan sólo unos segundos (arranque en vacío, bajo par resistente de la máquina arrastrada, etc.) o de varias decenas de segundos (máquina arrastrada con mucha inercia), por lo que es necesario contar con relés adaptados a la duración de arranque. La norma IEC 947-4-1-1 responde a esta necesidad definiendo tres tipos de disparo para los relés de protección térmica:

- Relés de clase 10

Válidos para todas las aplicaciones corrientes con una duración de arranque inferior a 10 segundos.

- Relés de clase 20

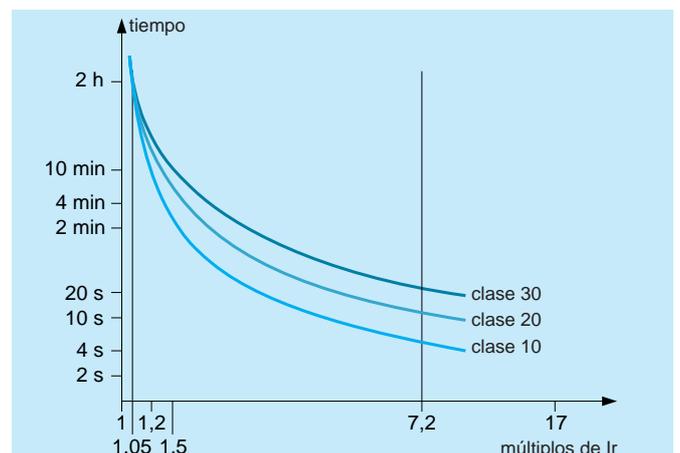
Admiten arranques de hasta 20 segundos de duración.

- Relés de clase 30

Para arranques con un máximo de 30 segundos de duración.

Observación importante: en las aplicaciones con un arranque prolongado, conviene comprobar que todos los elementos del arrancador (contactores, aparatos de protección contra los cortocircuitos, cables, etc.) están dimensionados para soportar la corriente de arranque sin calentarse demasiado.

	1,05 I _r	1,2 I _r	1,5 I _r	7,2 I _r
Clase	tiempo de disparo en frío			
10 A	> 2 h	< 2 h	< 2 min	2 s ≤ t _p ≤ 10 s
10	> 2 h	< 2 h	> 4 min	2 s ≤ t _p ≤ 10 s
20	> 2 h	< 2 h	> 8 min	2 s ≤ t _p ≤ 20 s
30	> 2 h	< 2 h	> 12 min	2 s ≤ t _p ≤ 30 s



Curvas de disparo de los relés térmicos

Modos de rearme

El relé de protección se puede adaptar fácilmente a las diversas condiciones de explotación eligiendo el modo de rearme Manual o Auto (dispositivo de selección situado en la parte frontal del relé), que permite tres procedimientos de rearme:

- las máquinas simples que pueden funcionar sin control especial y consideradas no peligrosas (bombas, climatizadores, etc.) se pueden rearmar automáticamente cuando se enfrían las biláminas:

rearme Auto, esquema 3 hilos

- en los automatismos complejos, el rearme requiere la presencia de un operario por motivos de índole técnica y de seguridad:

rearme Auto, esquema 2 hilos

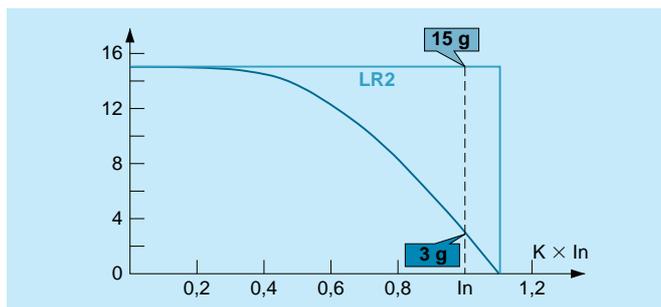
También se recomienda este tipo de esquema para los equipos de difícil acceso.

- por motivos de seguridad, las operaciones de rearme del relé en funcionamiento local y de arranque de la máquina debe realizarlas obligatoriamente el personal cualificado:

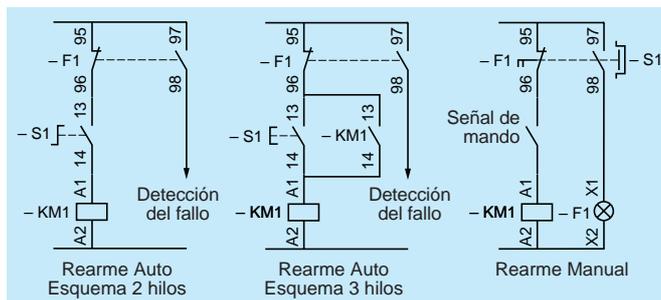
rearme Manual

Control de los contactos auxiliares

En los relés térmicos con basculador simple, la presión de los contactos disminuye a medida que las biláminas se deforman. Este inconveniente se puede evitar gracias al dispositivo llamado "de doble percusión" (patentado por Telemecanique) utilizado en los relés térmicos con biláminas de clase 10 y 20 serie D de Telemecanique, que mantiene la presión de contacto hasta el umbral de basculamiento. Dicho dispositivo elimina los riesgos de disparo accidental debido a vibraciones o choques indirectos al tiempo que garantiza el cambio de estado franco de los contactos.



Presión de contacto de los relés térmicos LR2-D de Telemecanique



Rearme de los relés térmicos LR2-D de Telemecanique

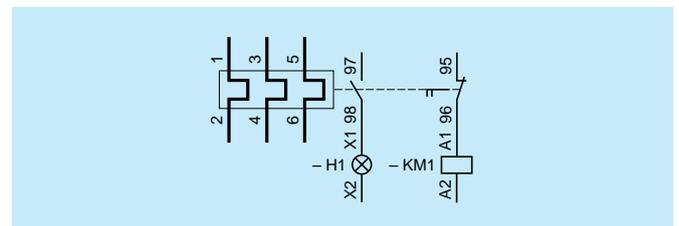
Asociación con un contactor

Circuito de potencia: cada bobinado de calentamiento debe intercalarse en una fase o polaridad del receptor protegido.

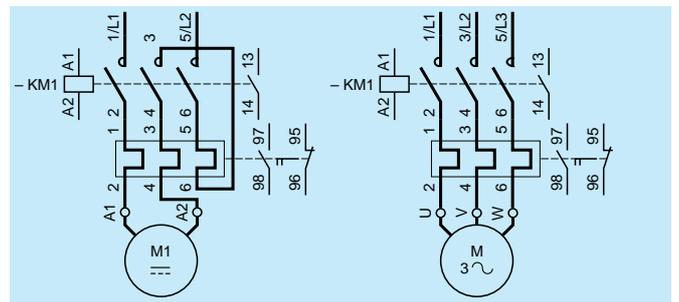
Circuito de control: el contacto de apertura del relé debe conectarse en serie dentro del circuito de la bobina del contactor que controla la puesta bajo tensión del receptor.

Asociación con un dispositivo de protección contra los cortocircuitos

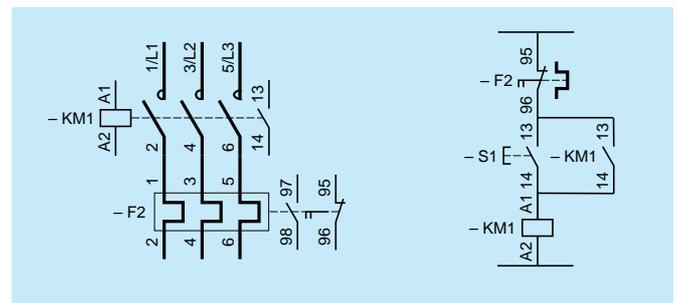
Los relés térmicos no sólo no protegen contra los cortocircuitos sino que requieren una protección contra los mismos, por lo que es necesario asociarles un disyuntor o fusibles.



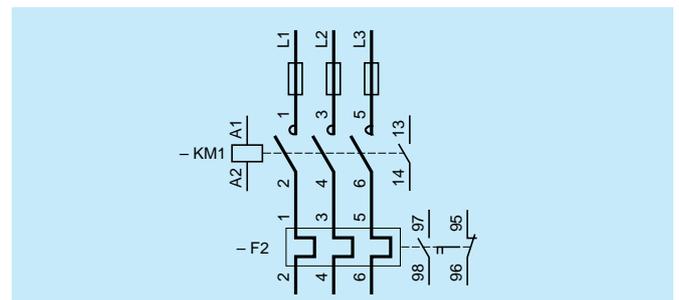
Control de un piloto de señalización y de una bobina de contactor



Protección de circuitos monofásicos y trifásicos



Asociación de relé térmico y contactor



Asociación de relé térmico y fusibles

Los relés con sondas de termistancias PTC

Este sistema de protección controla la temperatura real del elemento protegido. Se compone de:

- una o varias sondas de termistancias con coeficiente de temperatura positivo (PTC). La resistencia de estos componentes estáticos aumenta bruscamente cuando la temperatura alcanza el umbral llamado **Temperatura Nominal de Funcionamiento (TNF)**,
- un dispositivo electrónico, alimentado en corriente alterna o continua, que mide permanentemente la resistencia de las sondas asociadas. Un circuito detecta el fuerte aumento del valor de la resistencia que se produce cuando se alcanza la TNF y ordena el cambio de estado de los contactos de salida. En función del tipo de sondas, este modo de protección puede activar una alarma sin detener la máquina (TNF de las sondas inferior a la temperatura máxima especificada para el elemento protegido), o detener la máquina (la TNF coincide con la temperatura máxima especificada).

Existen dos tipos de relés de sondas:

- de rearme automático, cuando la temperatura de las sondas tiene un valor inferior a la TNF,
- de rearme manual local o a distancia, ya que el pulsador de rearme no resulta efectivo mientras la temperatura sea superior a la TNF.

El disparo se activa con los siguientes fallos:

- se ha superado la TNF,
- corte de las sondas o de la línea sondas-relés,

- cortocircuito de las sondas o de la línea sondas-relés,
- ausencia de la tensión de alimentación del relé.

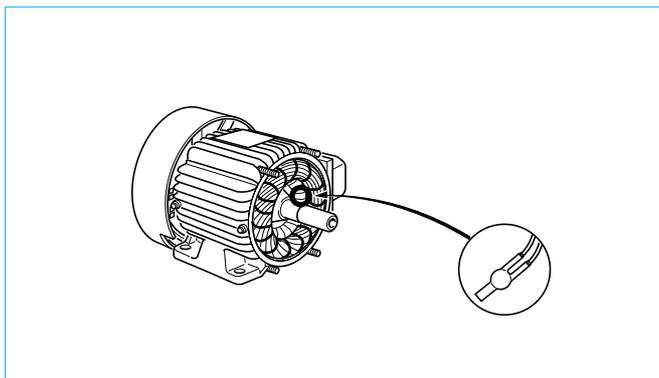
Las sondas miden la temperatura con absoluta precisión, ya que, debido a su reducido tamaño, tienen una inercia térmica muy pequeña que garantiza un tiempo de respuesta muy corto.

Aplicaciones

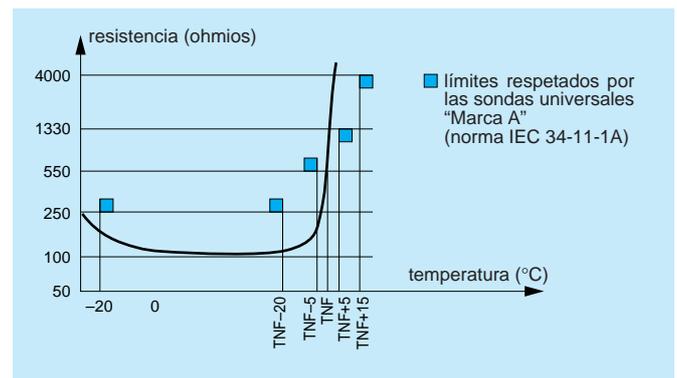
Los relés de sondas controlan directamente la temperatura de los devanados estáticos, lo que les permite proteger los motores contra los calentamientos debidos a sobrecargas, aumento de la temperatura ambiente, fallos del circuito de ventilación, número de arranques elevado, funcionamiento por impulsos, arranque anormalmente prolongado, etc. Sin embargo, para utilizar este modo de protección, es necesario que las sondas se hayan incorporado a los bobinados durante el proceso de fabricación del motor o al realizarse un rebobinado tras un accidente.

Los relés de sondas también se utilizan para controlar el calentamiento de los elementos mecánicos de los motores o demás aparatos que admitan sondas: cojinetes, circuitos de engrase, fluidos de refrigeración, resistencias de arranque, radiadores de semiconductores, etc.

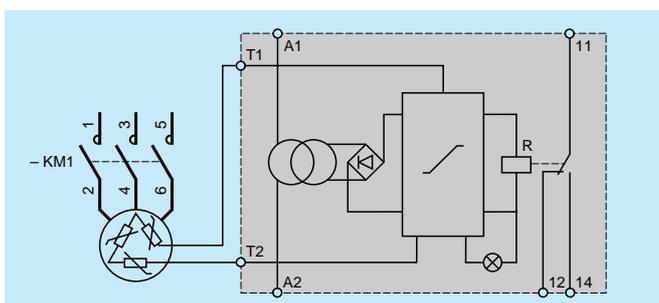
El número máximo de sondas que se pueden asociar en serie en el mismo relé depende del tipo de relé y del tipo de sonda (100 o 250 ohmios a 25 °C). Dichas sondas pueden tener una TNF diferente, lo que permite controlar con un solo relé todos los elementos con temperaturas de funcionamiento distintas. Sin embargo, esta solución sólo se recomienda en los casos en los que no sea necesario localizar los fallos con gran precisión.



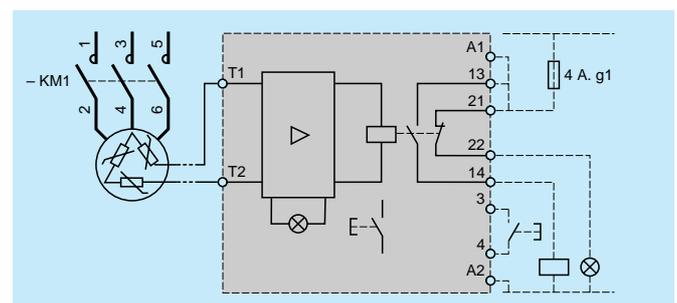
Ubicación de una sonda de termistancia PTC



Características de una sonda de termistancia PTC



Control de un motor con termistancias, sin memorización



Control de un motor con termistancias, con memorización

Los relés electromagnéticos de máxima corriente

Los relés electromagnéticos de máxima corriente se utilizan para proteger las instalaciones sometidas a picos de corriente frecuentes (por ejemplo, arranque de motores de anillos en aparatos de elevación) contra las sobrecargas importantes en los casos en los que, a causa de arranques demasiado frecuentes, variaciones bruscas del par o riesgos de calado, resulte imposible utilizar relés térmicos de biláminas.

Principio de funcionamiento

Los principales elementos de los relés son:

- un circuito magnético, formado por una parte fija, una armadura móvil y una bobina,
 - un mecanismo de disparo accionado a través de la armadura móvil y que actúa sobre contactos auxiliares NC + NA.
- La corriente que se desea controlar atraviesa la bobina, conectada en serie a una de las fases del receptor. Cuando dicha corriente rebasa el valor de reglaje, el campo magnético que genera la bobina es suficiente para atraer la armadura móvil y cambiar el estado de los contactos. El contacto de apertura se encuentra en el circuito de la bobina del contactor principal, por lo que éste se abre.

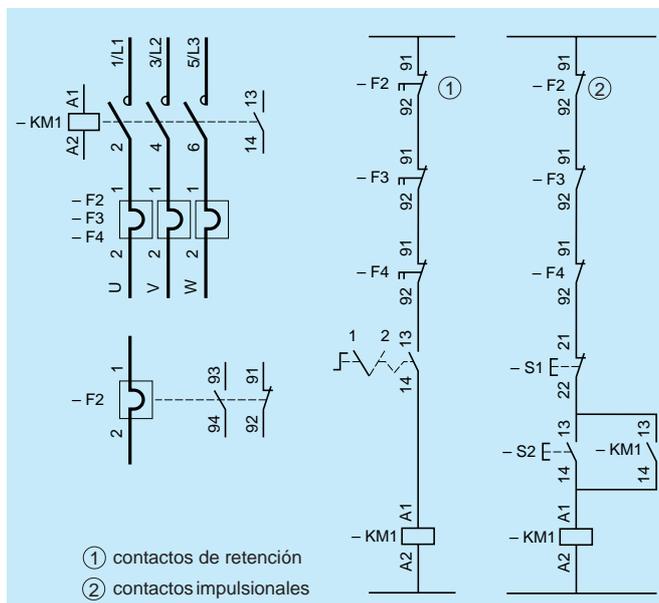
Dispositivo de reglaje

El reglaje se realiza reduciendo o aumentando el ángulo de apertura de la armadura móvil, lo que modifica el entrehierro, y por tanto, el número de amperios-vuelta necesarios para cerrar el circuito magnético. El dispositivo de reglaje está graduado en amperios, por lo que basta con indicar el valor de la corriente de disparo.

Asociación con un contactor

♦ Circuito de potencia

Inclusión de un relé en cada una de las fases de alimentación del receptor protegido.



Asociación de tres relés electromagnéticos con un contactor

♦ Circuito de control

El contacto de disparo de cada relé debe asociarse en serie en el circuito de la bobina del contactor que alimenta el receptor. Este contacto puede ser de retención o fugaz:

- contacto de retención

Cuando se dispara el relé, los contactos se mantienen mecánicamente. El relé debe rearmarse manualmente o con un dispositivo de rearme eléctrico a distancia. Con los esquemas de control 2 hilos hay que utilizar obligatoriamente contactos de retención, para que el contactor no ratee.

- contacto impulsional

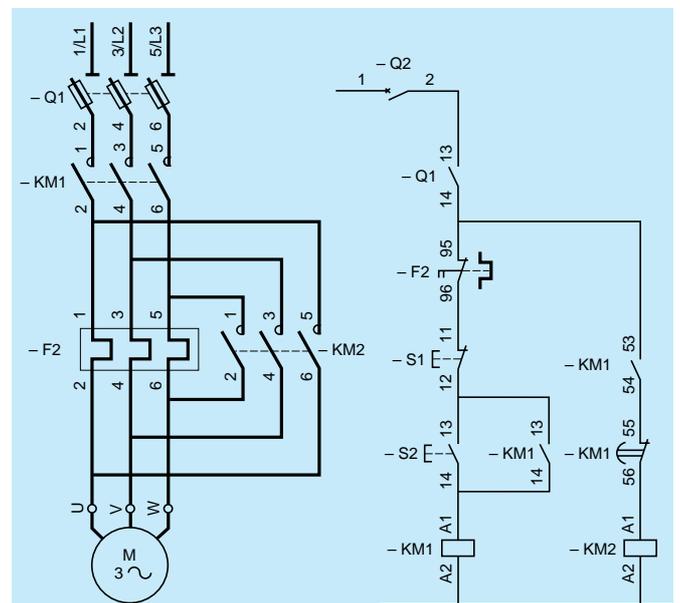
El contacto de disparo vuelve a la posición inicial después del funcionamiento del relé y la apertura del contactor, por lo que debe utilizarse obligatoriamente con un esquema 3 hilos.

En ambos casos, resulta imprescindible solucionar el fallo antes de rearmar el relé (contacto de retención) o de volver a activar el pulsador de marcha (contacto impulsional).

Protección de motores de arranque prolongado

Para proteger los motores de arranque prolongado contra las sobrecargas es preferible utilizar relés de biláminas de clase 20 o 30 (ver la página 17). Pero en caso de que esta protección resulte imposible (por ejemplo, cuando la duración del arranque rebasa los límites que determina la norma sobre clases de disparo) la protección deberá realizarse:

- mediante un relé con sondas de termistancias (ver la página 19),
- mediante un relé térmico de clase 10 alimentado a través de los secundarios de tres transformadores de corriente con bajo índice de saturación,
- cortocircuitando un relé térmico de clase 10 durante el arranque con ayuda de un contactor. Al final del arranque, un



Cortocircuitado del relé de protección durante el arranque

Relés de control y de medida

Aunque los arrancadores siempre incluyen una protección contra los cortocircuitos y las sobrecargas, puede que algunas aplicaciones requieran un sistema de protección adicional (control de la tensión, de la resistencia de aislamiento, etc.), sin que por ello sea necesario instalar relés multifunción. Los relés de control y de medida específicos constituyen una solución que se adapta exactamente a la necesidad concreta:

♦ Controlar la tensión de alimentación

Para que todos los componentes de un equipo de automatismo funcionen correctamente, la tensión de alimentación de éste debe mantenerse dentro de un determinado rango, que varía según los aparatos. En caso de cambio de tensión, y concretamente en caso de subtensión, aunque sea transitoria, los relés de mínima tensión permiten activar una alarma o interrumpir la alimentación de la instalación.

♦ Controlar la alimentación de las 3 fases

Un corte de fase en el circuito de un receptor puede llegar a afectar a un sector o al conjunto de la instalación, provocando perturbaciones en algunos circuitos. Por lo tanto, conviene detectar este tipo de cortes en cuanto aparecen.

♦ Controlar el orden de las fases

La inversión de las fases puede provocar graves desperfectos mecánicos en la máquina arrastrada. Los accidentes de este tipo se producen, por ejemplo, después de una intervención por motivos de mantenimiento o de reparación.

♦ Controlar la resistencia de aislamiento

Los fallos de aislamiento pueden resultar peligrosos para el funcionamiento, el material y el personal.

♦ Controlar la evolución de una variable

La ejecución de determinadas operaciones puede estar condicionada por la evolución de una tensión o una corriente. Los relés permiten controlar los umbrales regulables.

♦ Controlar el nivel de los líquidos

Este tipo de relés se puede utilizar, por ejemplo, para evitar el descebado de una bomba.



Relés de control y de medida de Telemecanique

Conmutación todo o nada

La función conmutación todo o nada establece e interrumpe la alimentación de los receptores. Esta suele ser la función de los contactores electromagnéticos.

En la mayoría de los casos, el control a distancia resulta imprescindible para facilitar la utilización así como la tarea del operario, que suele estar alejado de los mandos de control de potencia. Como norma general, dicho control ofrece información sobre la acción desarrollada que se puede visualizar a través de los pilotos luminosos o de un segundo dispositivo. Estos circuitos eléctricos complementarios llamados "circuitos de esclavización y de señalización" se realizan mediante contactos auxiliares que se incorporan a los contactores, a los contactores auxiliares o a los relés de automatismo, o que ya están incluidos en los bloques aditivos que se montan en los contactores y los contactores auxiliares.

La conmutación todo o nada también puede realizarse con relés y contactores estáticos. Del mismo modo, puede integrarse en aparatos de funciones múltiples, como los disyuntores motores o los contactores disyuntores descritos en el subcapítulo "Aparatos de funciones múltiples".

El contactor electromagnético

El contactor electromagnético es un aparato mecánico de conexión controlado mediante electroimán y con funcionamiento todo o nada. Cuando la bobina del electroimán está bajo tensión, el contactor se cierra, estableciendo a través de los polos un circuito entre la red de alimentación y el receptor. El desplazamiento de la parte móvil del electroimán que arrastra las partes móviles de los polos y de los contactos auxiliares o, en determinados casos, del dispositivo de control de éstos, puede ser:

- rotativo, girando sobre un eje,
- lineal, deslizándose en paralelo a las partes fijas,
- una combinación de ambos.

Cuando se interrumpe la alimentación de la bobina, el circuito magnético se desmagnetiza y el contactor se abre por efecto de:

- los resortes de presión de los polos y del resorte de retorno de la armadura móvil,
- la fuerza de gravedad, en determinados aparatos (las partes móviles recuperan su posición de partida).

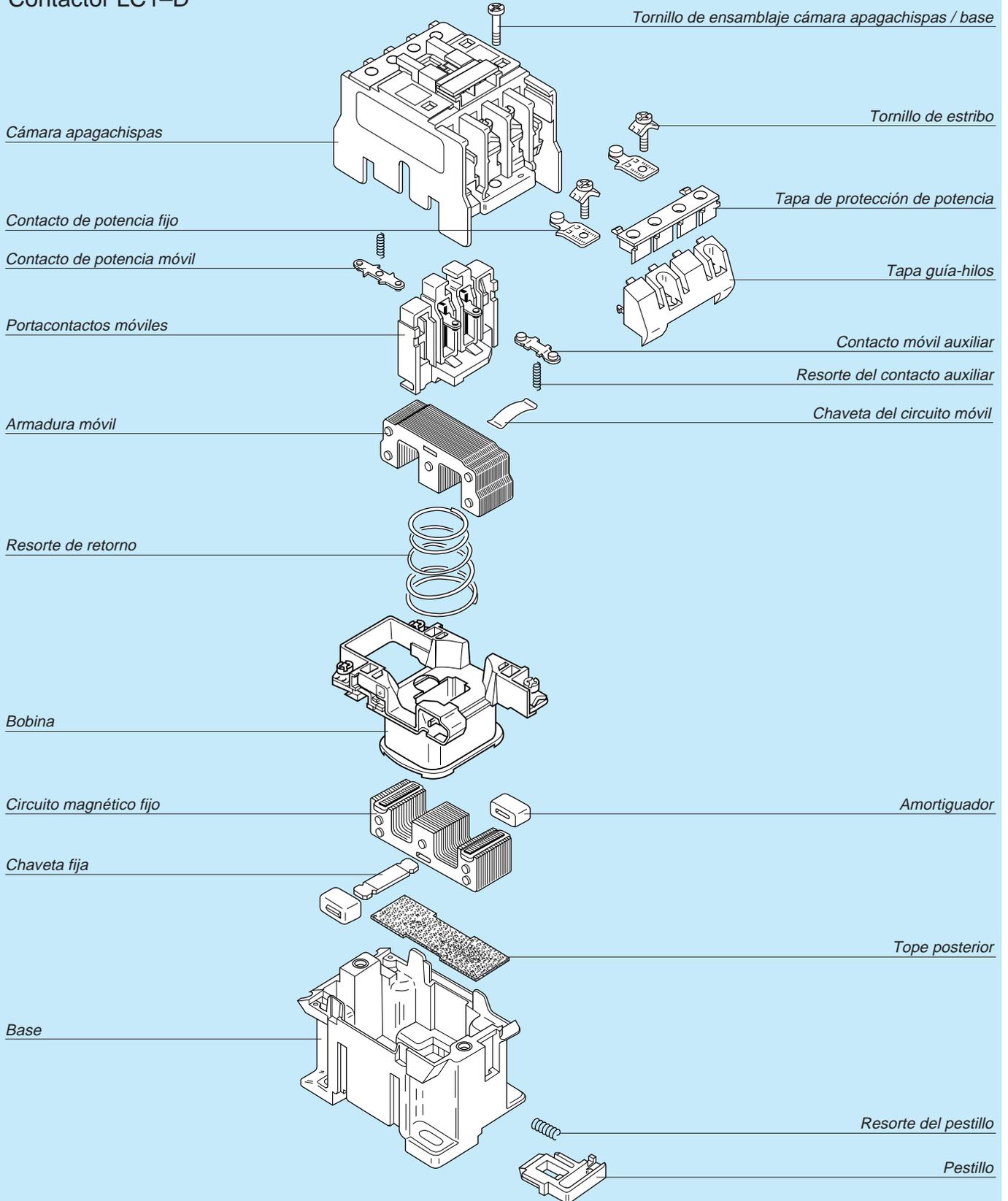
El contactor ofrece numerosas ventajas, entre las que destacan la posibilidad de:

- interrumpir las corrientes monofásicas o polifásicas elevadas accionando un auxiliar de mando recorrido por una corriente de baja intensidad,
- funcionar tanto en servicio intermitente como en continuo,
- controlar a distancia de forma manual o automática, utilizando hilos de sección pequeña o acortando significativamente los cables de potencia,
- aumentar los puestos de control y situarlos cerca del operario.

A estas características hay que añadir que el contactor:

- es muy robusto y fiable, ya que no incluye mecanismos delicados,
- se adapta con rapidez y facilidad a la tensión de alimentación del circuito de control (cambio de bobina),
- garantiza la seguridad del personal contra arranques inesperados en caso de interrupción de corriente momentánea (mediante pulsadores de control),
- facilita la distribución de los puestos de paro de emergencia y de los puestos esclavos, impidiendo que la máquina se ponga en marcha sin que se hayan tomado todas las precauciones necesarias,
- protege el receptor contra las caídas de tensión importantes (apertura instantánea por debajo de una tensión mínima),
- puede incluirse en equipos de automatismos sencillos o complejos.

Contactor LC1-D



Composición de un contactor electromagnético

EL ELECTROIMAN

El electroimán es el elemento motor del contactor. Sus elementos más importantes son el circuito magnético y la bobina. Se presenta bajo distintas formas en función del tipo de contactor e incluso del tipo de corriente de alimentación, alterna o continua.

El circuito magnético incluye un entrehierro reducido en posición "cerrado" que evita que se produzcan remanencias (1). Se obtiene retirando el metal o intercalando un material amagnético (2).

El recorrido de llamada es la distancia que media entre la parte fija y la parte móvil del circuito cuando el contactor está en reposo. El recorrido de aplastamiento es la distancia que media entre ambas partes cuando los polos entran en contacto.

Los resortes que presionan los polos se comprimen durante el recorrido de aplastamiento y hasta el final del mismo.

Circuito magnético de corriente alterna

♦ Características

- chapas de acero al silicio unidas mediante remache o soldadura,
- circuito laminado para reducir las corrientes de Foucault que se originan en toda masa metálica sometida a un flujo alterno (las corrientes de Foucault reducen el flujo útil de una corriente magnetizante determinada y calientan innecesariamente el circuito magnético),
- uno o dos anillos de desfase, o espiras de Frager, que generan en una parte del circuito un flujo decalado con respecto al flujo alterno principal. Con este mecanismo se evita la anulación periódica del flujo total, y por consiguiente, de la fuerza de atracción (lo que podría provocar ruidosas vibraciones).

(1) *Remanencia: un contactor remanente es un contactor que permanece cerrado cuando las bornas de su bobina ya no están bajo tensión.*

(2) *Amagnético: que no conserva el magnetismo; el cobre y el latón son metales amagnéticos.*

♦ Utilización en corriente continua

Los circuitos magnéticos laminados se pueden utilizar en corriente continua con total normalidad. En tal caso, es necesario emplear una bobina distinta a la que se utiliza con tensión alterna de igual intensidad. También es preciso intercalar una resistencia de reducción de consumo en el circuito de control de la bobina en cuanto se cierra el contactor (ver la página 27).

Circuito magnético en corriente continua

En el circuito magnético de los electroimanes alimentados en corriente continua no se forman corrientes de Foucault. En determinados casos, es preferible utilizar un electroimán específico para corriente continua de acero macizo en lugar de adaptar un circuito magnético laminado de corriente alterna.

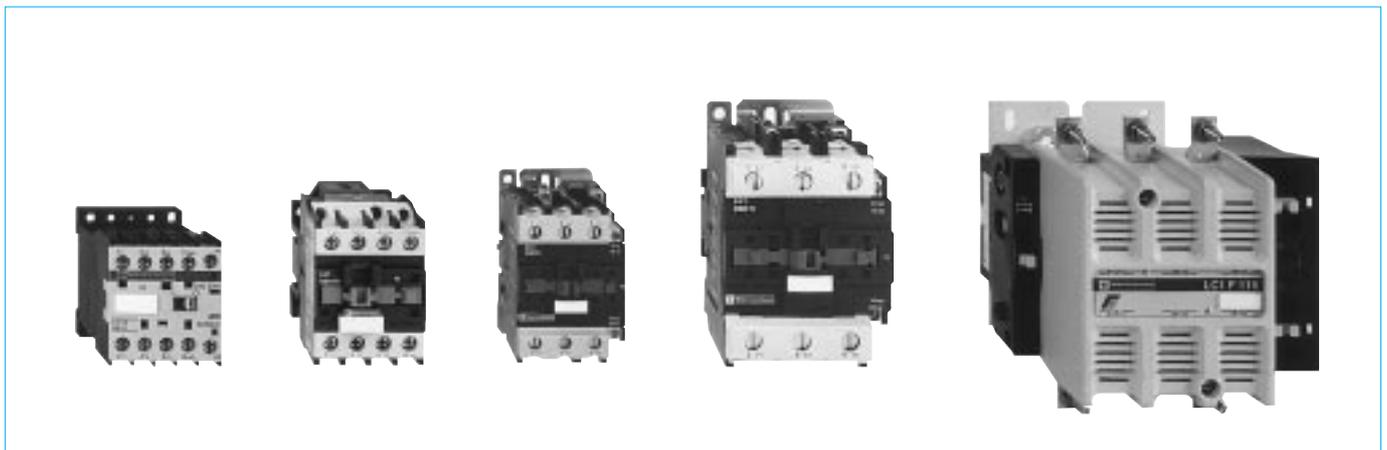
LA BOBINA

La bobina genera el flujo magnético necesario para atraer la armadura móvil del electroimán.

Puede estar montada en una rama del circuito magnético o, excepcionalmente, en dos, según el modelo de contactor. Está diseñada para soportar los choques mecánicos que provocan el cierre y la apertura de los circuitos magnéticos y los choques electromagnéticos que se producen cuando la corriente recorre las espiras.

Para atenuar los choques mecánicos, la bobina o el circuito magnético, y en algunos casos ambos, están montados sobre unos amortiguadores.

Las bobinas que se utilizan hoy en día son muy resistentes a las sobretensiones, a los choques y a los ambientes agresivos. Están fabricadas con hilo de cobre cubierto de un esmalte de grado 2 y soportan temperaturas de 155 °C, o incluso de 180 °C. Existen bobinas impregnadas al vacío o sobremoldeadas.



Contactores Telemecanique

LOS POLOS

La función de los polos consiste en establecer o interrumpir la corriente dentro del circuito de potencia. Están dimensionados para que pase la corriente nominal del contactor en servicio permanente sin calentamientos anómalos. Consta de una parte fija y una parte móvil. Esta última incluye unos resortes que transmiten la presión correcta a los contactos que están fabricados con una aleación de plata con una excepcional resistencia a la oxidación, mecánica y al arco (1).

Los contactos pueden ser de doble corte o de simple corte. Los contactos de doble corte están muy bien adaptados a todas las aplicaciones en corriente alterna (servicio intensivo, AC-3, AC-4, etc.) y permiten realizar aparatos compactos. Los contactos de simple corte suelen incluir un dispositivo apagachispas magnético. Se recomienda utilizarlos para cortar corrientes continuas y para aplicaciones con servicio severo.

Los polos ruptores, utilizados para resolver determinados problemas de automatismo, funcionan al contrario que los polos normales: los contactos se encuentran en estado pasante cuando el electroimán de control no está bajo tensión, y no pasante cuando recibe alimentación.

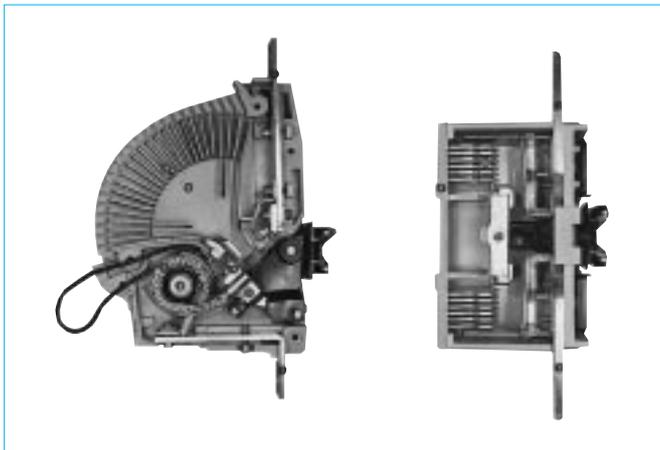
LOS CONTACTOS AUXILIARES

Los contactos auxiliares realizan las funciones de automantenimiento, esclavización, enclavamiento de los contactores y señalización. Existen tres tipos básicos:

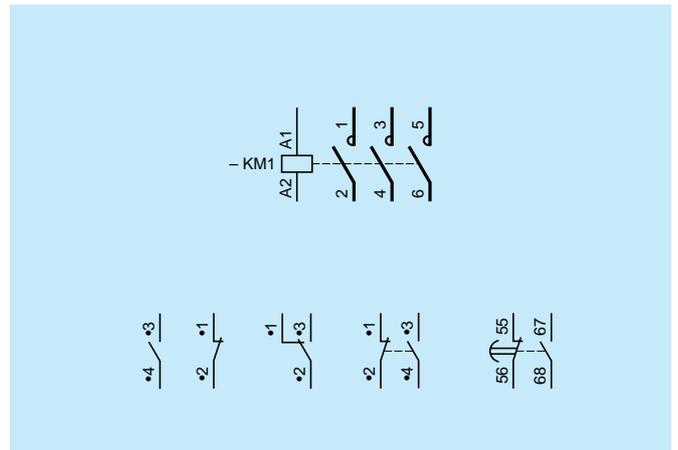
- contactos instantáneos de cierre NA, abiertos (no pasantes) cuando el contactor está en reposo, y cerrados (pasantes) cuando el electroimán está bajo tensión,
- contactos instantáneos de apertura NC, cerrados (pasantes) cuando el contactor está en reposo, y abiertos (no pasantes) cuando el electroimán está bajo tensión,
- contactos instantáneos NA/NC. Cuando el contactor está en reposo, el contacto NA se encuentra en estado no pasante y el contacto NC en estado pasante. El estado de los contactos se invierte cuando se cierra el contactor. Los dos contactos tienen un punto común.

Los contactos temporizados NA o NC se establecen o se separan cuando ha transcurrido un tiempo determinado después del cierre o la apertura del contactor que los activa. Este tiempo se puede regular.

(1) Ver "corte de corrientes: el arco eléctrico" en la página 29.



Polos de simple y doble corte



Representación simbólica de los polos y los contactos auxiliares

Comportamiento de un circuito magnético en corriente alterna y continua

Relación entre fuerza de atracción y corriente de control

Cuando el contactor está en reposo, en posición de llamada, las líneas de fuerza del campo magnético presentan un amplio recorrido en el aire y la reluctancia (1) total del circuito magnético \mathfrak{R}_a es muy elevada. Por lo tanto, se necesita una corriente de llamada I_a elevada para generar una fuerza de atracción superior a la del resorte de retorno y provocar el accionamiento.

$$\phi_a = \frac{nI_a \text{ (elevada) (2)}}{\mathfrak{R}_a \text{ (muy elevada)}}$$

Cuando el contactor se encuentra en posición "trabajo", el circuito magnético cerrado tiene una reluctancia \mathfrak{R}_f muy baja. En este caso, la fuerza de atracción debe ser mayor para equilibrar la fuerza de los resortes de presión de los polos. Pero la escasa reluctancia permite conseguir un flujo correspondiente ϕ_f con una corriente mucho menor que la corriente de llamada:

$$\phi_f = \frac{nI_f \text{ (baja)}}{\mathfrak{R}_f \text{ (muy baja)}}$$

En síntesis, para mantener el circuito magnético cerrado, es suficiente una corriente I_f bastante menor que la corriente de llamada I_a necesaria para la activación.

(1) La reluctancia es la resistencia que el circuito magnético ofrece al paso del flujo. Se puede comparar con la resistencia de un circuito eléctrico que se opone al paso de la corriente (ley de Ohm). Para un circuito magnético homogéneo de hierro dulce, con longitud l , sección constante S y permeabilidad m , la reluctancia sería:

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu S}$$

En la mayoría de los casos la única reluctancia es la de los entrehierros, ya que los metales magnéticos son mucho más permeables que el aire (100 a 1.000 según el grado de saturación).

(2) El flujo es proporcional a los amperios-vuelta, pero inversamente proporcional a la reluctancia:

$$\phi = \frac{nI}{\mathfrak{R}}$$

I es la corriente que recorre la bobina.

La fuerza de atracción es proporcional al cuadrado del flujo.

(3) Para una corriente alterna de frecuencia angular ω ($\omega = 2\pi f = 314$ a 50 Hz) y un circuito con una resistencia R , una inductancia L y una capacidad C , el valor de la impedancia sería:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ donde } X = L\omega - \frac{1}{C\omega}$$

(4) En una primera aproximación, la impedancia de la bobina es inversamente proporcional a la reluctancia del circuito magnético:

$$L = \frac{n^2}{\mathfrak{R}}$$

n es el número de espiras de la bobina.

Circuito magnético en corriente alterna

♦ Alimentación en corriente alterna

En corriente alterna, el valor de la corriente de la bobina se determina por su impedancia (3). La presencia de un entrehierro de grandes dimensiones, determina que a la llamada la reluctancia del circuito magnético y la impedancia de la bobina sean respectivamente muy elevada y poco elevada (4).

La corriente de llamada I_a es muy intensa y se limita casi exclusivamente con la resistencia de la bobina.

En posición de trabajo, el circuito magnético cerrado tiene una reluctancia baja que determina un fuerte aumento de la impedancia de la bobina. Esta impedancia elevada limita la corriente a un valor I_f notablemente inferior a I_a (6 a 10 veces menor).

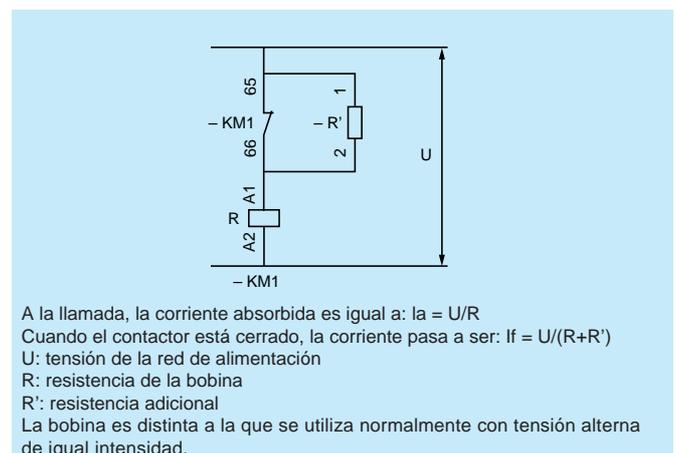
En síntesis, la corriente de la bobina disminuye simplemente a causa del aumento de la impedancia resultante de la disminución del entrehierro. Como se explica en el párrafo anterior, esta corriente basta para mantener cerrado el circuito magnético.

♦ Alimentación en corriente continua

El valor de la corriente sólo depende de la resistencia de la bobina. Las características de la bobina a la llamada permiten que la resistencia determine una corriente I_a suficiente para enclavar el contactor.

Cuando el electroimán se encuentra cerrado, el valor de la resistencia sigue siendo el mismo y la corriente sigue siendo igual a la corriente de llamada I_a , mientras que, como acabamos de ver, una corriente bastante menor sería suficiente para mantener el circuito magnético en posición de cierre. A menos que el electroimán tenga un diseño especial, la bobina no puede absorber durante mucho tiempo la potencia resultante del paso permanente de la corriente de llamada I_a sin un aumento excesivo de la temperatura, por lo que es necesario disminuir el consumo al mantenimiento. El consumo se reduce intercalando en serie con la bobina una resistencia adicional de valor apropiado.

La resistencia se pone en servicio a través de un contacto auxiliar de apertura que se abre cuando el contactor termina de cerrarse.



Disminución de consumo

Circuito magnético en corriente continua

Con los electroimanes diseñados especialmente para corriente continua no es necesario aplicar el sistema de reducción de consumo. En tal caso, el circuito magnético y la bobina están sobredimensionadas (mayor volumen de acero y cobre) para aumentar la superficie de enfriamiento y favorecer la disipación de las calorías.

A igual calibre, un contactor equipado con este tipo de circuito es mayor que un contactor con circuito magnético alterno alimentado en corriente continua con reducción de consumo, y la durabilidad mecánica es muy elevada. La corriente de llamada la es igual a la corriente de mantenimiento If.

Circuito magnético de bajo consumo

Ver la página 32.

Circuito magnético con bobina de dos devanados

Esta técnica, patentada por Telemecanique, resulta idónea para los contactores de elevado calibre que requieran un electroimán:

- poco voluminoso, para limitar el peso y el tamaño de los equipos,
- que suministre un esfuerzo motor capaz de mantener un elevado rendimiento de los contactos,
- insensible a las posibles caídas de tensión de la línea de alimentación y a las llamadas de corriente derivadas del arranque de los motores,
- con un consumo energético mínimo,
- con una fiabilidad electromecánica muy alta.

Estas exigencias sólo puede cumplirlas un electroimán:

- diseñado especialmente para corriente continua,
- que incluya una bobina con funciones de llamada y mantenimiento separadas,
- que se pueda alimentar tanto en corriente alterna como continua, según el tipo de bobina.

♦ Alimentación en corriente alterna

El principio de funcionamiento es el siguiente:

- cuando el contactor se cierra, el contacto (1) integrado en la bobina interrumpe la corriente del rectificador, y por tanto en el bobinado de llamada (A),
- el bobinado de mantenimiento (M), que ya se alimentaba en corriente alterna (semialternancia), es el único que queda bajo tensión. El contacto (2) se utiliza con el control por impulso, como contacto de automantenimiento,
- cuando el circuito magnético del electroimán (Y) está cerrado, actúa como un transformador cuyos primario y secundario serían respectivamente el bobinado de mantenimiento (M) y el bobinado de llamada (A) conectado a las bornas de los cuatro diodos del puente.

Durante las alternancias positivas, los diodos del puente rectificador cortocircuitan el secundario y hacen que circule corriente en el bobinado de llamada (A) y, por tanto, que se produzca una inducción en un sentido determinado.

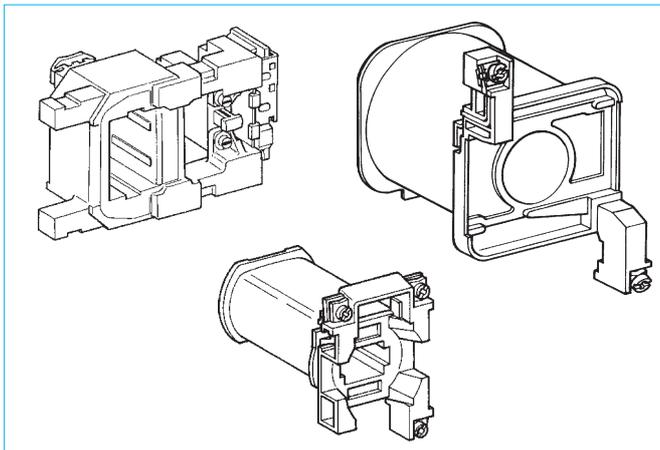
Durante las alternancias negativas, los diodos impiden que circule una corriente inversa en el secundario y la energía almacenada en éste se libera en forma de corriente de igual sentido que la anterior.

Por tal motivo, el flujo magnético del electroimán (Y) siempre tiene el mismo sentido y siempre es positivo.

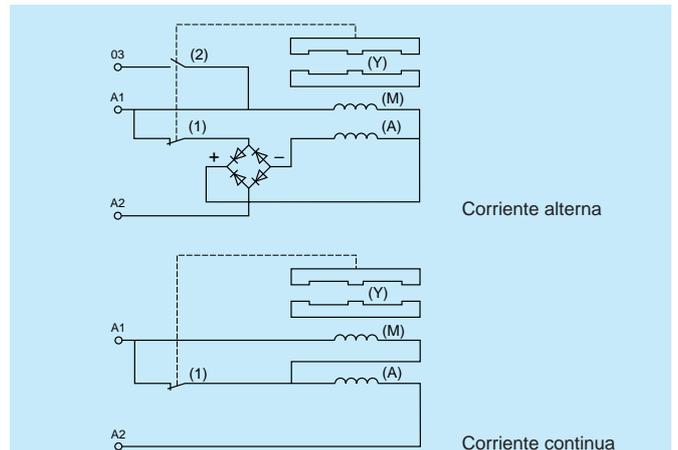
Este sistema eléctrico tiene un efecto análogo al de las juntas de desfase montadas en los contactores de menor calibre.

♦ Alimentación en corriente continua

- cuando el contactor se cierra, el contacto (1) integrado en la bobina se abre y el bobinado de mantenimiento (M) se conecta en serie con el bobinado de llamada (A).



Bobinas tipo corriente continua



Corte de corrientes: el arco eléctrico

Normalmente, el contactor se abre para interrumpir la corriente eléctrica que previamente atravesaba el receptor (motor, etc.). Este último suele ser inductivo y, salvo excepciones (apertura en el momento preciso del paso por cero de una corriente alterna), la corriente no se interrumpe de forma inmediata.

Cuando la intensidad es superior a un amperio, se establece un arco eléctrico entre los contactos en el momento en que se separan.

El arco es una forma de descarga eléctrica en los gases o en vacío. Se trata de un plasma formado por electrones libres y de iones arrancados de los electrodos por efecto térmico y que circulan en el medio gaseoso impulsados por el campo eléctrico establecido entre los contactos. En este sentido, se puede comparar el arco con un conductor móvil de forma variable que se puede poner en movimiento aplicándole, a lo largo de su recorrido, un campo magnético o situando piezas ferromagnéticas cerca de él.

La parte central alcanza la temperatura máxima que a menudo supera varios miles, incluso varias decenas de miles de grados, valores muy superiores a los que pueden tolerar los metales y, a priori, los aislantes utilizados en la fabricación de contactos y cámaras de corte.

Por lo tanto la duración del arco debe ser breve: ni demasiado larga para que no se deterioren las paredes o los materiales metálicos de la cámara, ni demasiado corta para limitar las sobretensiones derivadas de los cambios de corriente excesivamente rápidos dentro del circuito de carga. La resistencia del arco es inversamente proporcional al número de electrones libres presentes en el plasma: será menor cuanto mayor sea el número de electrones, es decir, cuanto mayor sea la ionización o, en resumen, cuanto mayor sea la temperatura del arco. Para restablecer la rigidez dieléctrica del espacio entre contactos —o desionización— es pues necesario un enfriamiento rápido de los gases recalentados. En un momento determinado, el producto del valor de la resistencia del arco por la corriente que lo atraviesa es lo que llamamos tensión de arco.

Las investigaciones llevadas a cabo por Ayrton demuestran que esta tensión es: $U_{arc} = A + (B \times I)$ para las corrientes superiores a varias decenas de amperios. A representa la suma prácticamente constante, de aproximadamente unos quince

voltios, de las caídas de tensión considerables que se producen cerca de los electrodos: ΔU_a en el ánodo y ΔU_c en el cátodo. $B \times I$ es una caída de tensión aproximadamente proporcional a la longitud del arco.

Si se desea disminuir una corriente continua hasta anularla, es necesario introducir en el circuito un arco cuya tensión sea superior a la de la fuente de alimentación. Según la fórmula de Ayrton es preciso aumentar la longitud del arco sometiéndolo a un campo magnético de "soplado", o aún mejor, fraccionarlo para multiplicar el número de caídas de tensión en los electrodos: $U_{arc} = n (15 V + B l')$, donde l' es la longitud unitaria de cada arco elemental. De este modo se obtiene una tensión elevada y escalonada con arcos de longitud adecuada a las dimensiones necesariamente reducidas de las cámaras de corte.

En corriente alterna la corriente se anula a sí misma, por lo que la tensión de arco elevada no resulta útil. Por el contrario, es preferible una tensión de arco baja para minimizar la energía de arco W_{arc} durante la duración del arco t_a .

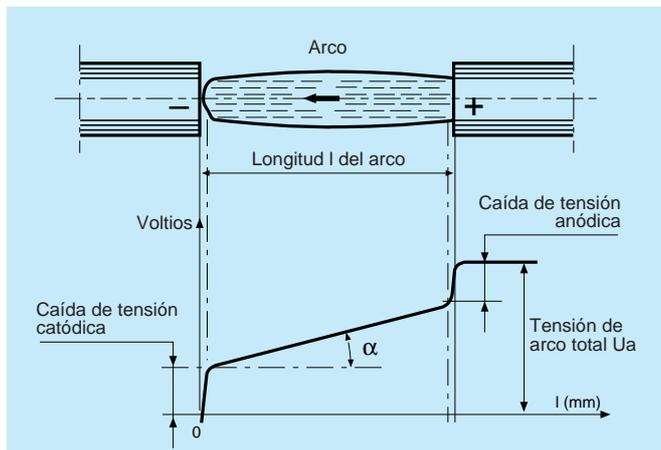
$W_{arc} = U_{arc} \times I \times t_a$ disipada en el plasma por efecto Joule. El arco se extingue al anularse la corriente, por lo que en 50 Hz el arco se extingue de forma natural unas milésimas de segundo después de su aparición. La dificultad reside en impedir que reaparezca después de que la corriente pase por cero.

Para ello, la función principal de las piezas metálicas ferromagnéticas situadas en la cámara de corte es atraer el arco en la dirección correcta (soplado magnético) y enfriar rápidamente el medio después del arco. Al absorber las calorías liberadas en el arco por efecto Joule, aceleran los fenómenos de desionización, reduciendo el riesgo de cebado.

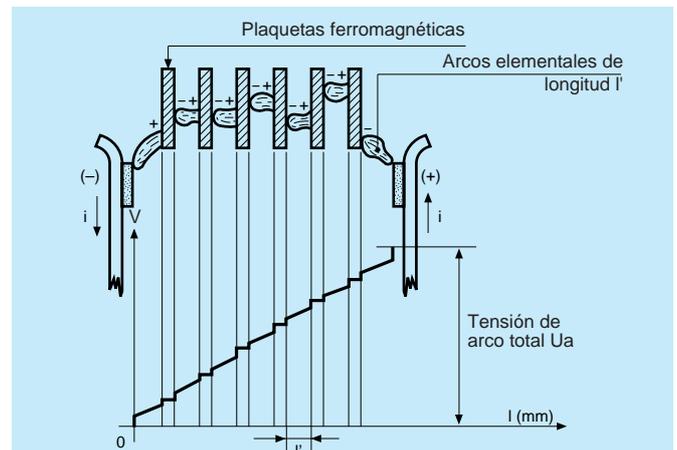
El corte en vacío

El corte en vacío, que anteriormente sólo se utilizaba en alta tensión, en la actualidad también se emplea en baja tensión. La resistencia dieléctrica en vacío, 25 kV/mm en lugar de 3 kV/mm en el aire, permite distancias entre contactos muy reducidas con una excelente resistencia a las sobretensiones. Por tal motivo, los aparatos de corte en vacío no requieren una energía de control muy elevada.

El corte en vacío se caracteriza esencialmente por una rapidísima recuperación de la rigidez dieléctrica del medio entre contactos después del arco. Además, como el arco se produce dentro de un receptáculo estanco, los aparatos de corte en vacío resultan muy seguros.



Forma general de un arco estabilizado



Fraccionamiento del arco mediante plaquetas

Accidentes que pueden dañar los contactores

Cuando un contactor sufre algún deterioro, conviene comprobar en primer lugar que el calibre de éste corresponde a la potencia del motor. En caso de que así sea, y muy especialmente si el valor de la corriente de calado del motor es inferior al poder de cierre del contactor, la causa del deterioro será con toda probabilidad el funcionamiento incorrecto del electroimán, debido a la presencia de perturbaciones en el circuito de control. A continuación se indican las perturbaciones más frecuentes y la solución que conviene a cada caso.

Caída de tensión de la red

Esta caída puede ser consecuencia del pico de corriente que produce el motor al arrancar cuando se juntan los contactos móviles del contactor y los contactos fijos.

Provoca una pérdida de energía del circuito magnético que ya no tiene fuerza suficiente para continuar el recorrido hasta completar el cierre.

Como la presión sobre los polos es nula, éstos se sueldan. Cuando el motor alcanza su velocidad nominal, la tensión aumenta, y cuando llega aproximadamente al 85% de U_n , el circuito magnético se cierra del todo.

Esta es una situación crítica para la instalación. Es necesario comprobar la longitud y la sección de todos los cables, y, en su caso, la potencia del transformador de alimentación.

Cuando varios motores arrancan simultáneamente (por ejemplo en un mando por conmutadores de posición mantenida) después de un corte de red, el pico de corriente acumulado también puede provocar una caída de tensión.

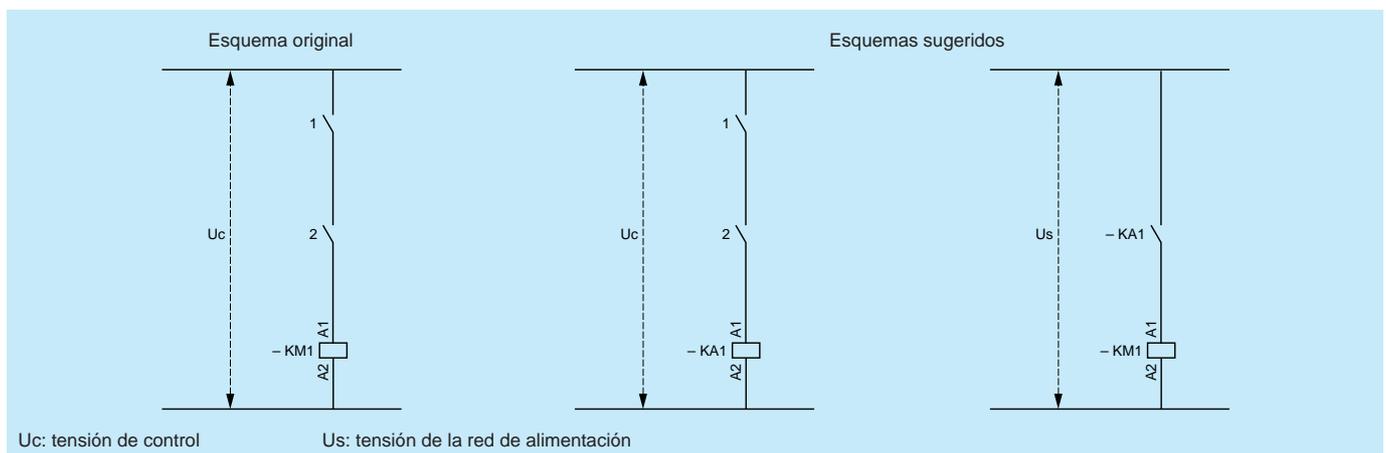
En este caso se recomienda instalar un dispositivo para decalar en el tiempo los arranques, siguiendo un orden de prioridad.

Caída de tensión en el circuito de control

Cuando el contactor se alimenta en baja tensión (24 a 110 V) y hay varios contactos en serie, puede producirse una caída de tensión del circuito de control a la llamada del contactor.

Esta caída de tensión se suma a la que provoca el pico de arranque del motor, lo que origina una situación análoga a la descrita anteriormente.

En tal caso, es necesario sustituir el aparato y cambiar el contactor afectado por un contactor auxiliar con una corriente de llamada mínima para controlar la bobina del contactor principal, alimentada a su vez con la tensión de la red.



Caída de tensión en el circuito de control

Vibración de los contactos control

Algunos contactos de la cadena control a veces producen vibraciones (termostato, manostato, etc.), que repercuten en el electroimán del contactor de potencia y provocan cierres incompletos, haciendo que se suelden los polos. Esta situación se soluciona cambiando la temporización del aparato a dos o tres segundos. Utilizar un contacto temporizado al cierre.

Microcortes de la red o interrupción accidental o voluntaria de corta duración

Cuando después de una breve interrupción de la tensión de red (unas decenas de microsegundos) el contactor vuelve a cerrarse, la fuerza contraelectromotriz del motor y la de la red se desfasan. En tales circunstancias, el pico de corriente puede llegar a duplicar su valor normal y existe el riesgo de que los polos se suelden por exceder el poder de cierre del contactor. Este accidente se puede evitar retrasando en dos o tres segundos el cierre del aparato con un contacto temporizado al cierre para que la fuerza contraelectromotriz sea casi nula.

Para proteger los contactores contra los microcortes, también se puede temporizar la apertura del contactor principal utilizando un dispositivo retardador (rectificador condensador).

Consecuencias de los accidentes

Si como consecuencia de las circunstancias anteriormente descritas los polos del contactor se sueldan, no sucederá nada anormal antes de la orden de parada del motor ya que la soldadura de uno o varios polos no impide que el contactor se cierre por completo.

En cambio, al abrirse, el contactor se queda "bloqueado" por el polo o polos soldados. Los polos que no se han soldado se abren unas décimas de milímetro.

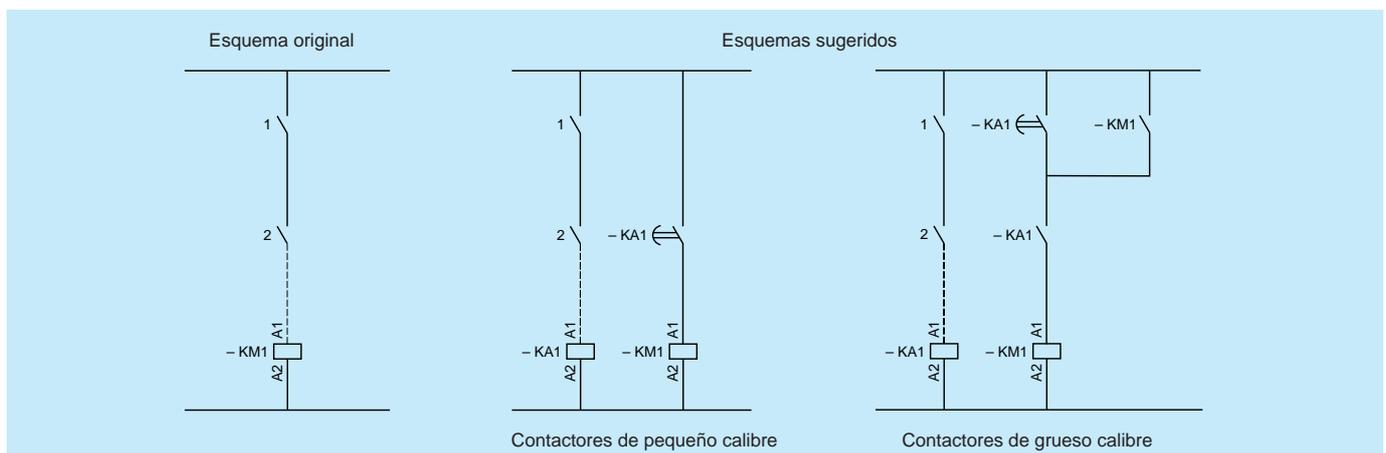
Se inicia un arco muy corto que, como la llama de un soplete, quema de forma lenta y constante los polos no soldados y acaba incendiando el aparato.

Cuando a continuación se examina el contactor, se observa que a menudo uno o dos polos permanecen intactos: son los que estaban soldados.

Conviene señalar que la corriente no es mayor que la corriente nominal del motor y que las protecciones no funcionarán hasta que el aparato esté dañado y se inicie un cortocircuito.

Conclusiones

Las perturbaciones que pueden provocar la soldadura de los polos del contactor tienen una duración tan corta y una aparición tan fugaz que resulta muy difícil detectarlas. Además, estos accidentes no suceden sistemáticamente cada vez que se cierra el contactor, pero sí suelen producirse cuando coinciden varias perturbaciones o cuando surge una perturbación en una red cuya tensión ya esté muy próxima al valor mínimo admisible. Aunque el contactor no es el origen del fallo, resulta imprescindible revisar todo el circuito de control para eliminar la causa.



Vibraciones de los contactos de esclavización

El contactor de bajo consumo

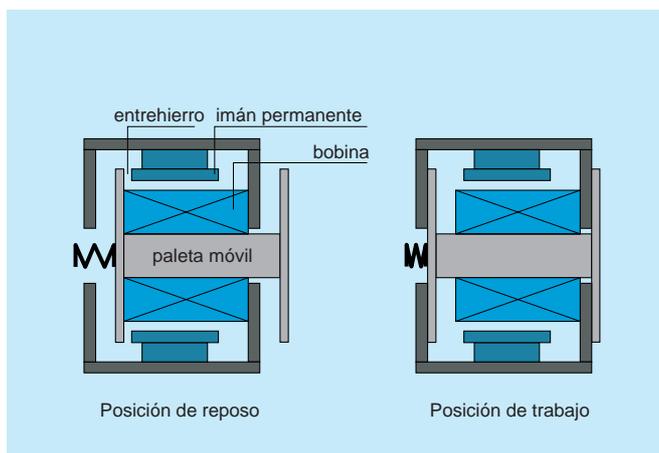
Los contactores de bajo consumo se pueden controlar sin interfaces a través de las salidas estáticas de los autómatas programables. A tal efecto, incluyen un electroimán en corriente continua adaptado a los niveles de tensión y de corriente de este tipo de salidas (normalmente DC 24 V/ 100 mA).

Este tipo de contactores también se utilizan cuando es necesario limitar la disipación térmica, por ejemplo en los equipos con mucho aparellaje o que incluyan aparatos electrónicos, o en los equipos alimentados por batería. Las diferencias entre el circuito magnético de los contactores o de los contactores auxiliares de bajo consumo y un circuito magnético clásico son:

- geometría particular que minimiza las fugas magnéticas y guía las partes móviles de forma precisa y con poco rozamiento,
- utilización de hierro puro de alta permeabilidad e imanes permanentes con elevado campo coercitivo.

Los imanes están dispuestos de tal manera que la fuerza de recuperación que ejercen sobre las partes móviles alcanza su máxima intensidad cuando el contactor está abierto, lo que garantiza una excelente resistencia a los choques en posición de reposo, de magnitud similar a la que se obtiene en posición de trabajo.

Cuando la bobina se pone bajo tensión, la fuerza de atracción que ejercen los imanes sobre la paleta móvil disminuye en función del cuadrado del entrehierro (retorno de pendiente negativa), mientras que en un electroimán clásico la fuerza de retorno que ejerce el resorte aumenta a medida que se desplazan las partes móviles. Con el mismo calibre, la fuerza motriz que suministra el electroimán de un contactor de bajo consumo es inferior a la de un contactor estándar, por lo que la bobina consume una potencia menor.



Electroimán de un contactor de serie d de bajo consumo



Contactor de serie d de bajo consumo de Telemecanique

Los relés y los contactores estáticos

Los relés y contactores estáticos son aparatos de conmutación de potencia con semiconductores. Se utilizan para controlar receptores resistivos o inductivos alimentados en corriente alterna.

Al igual que los contactores electromagnéticos, los relés y los contactores estáticos pueden establecer o interrumpir corrientes importantes con una corriente de control de baja intensidad, funcionar en servicio intermitente o continuo, recibir órdenes a distancia desde cualquier aparato que emita señales de tensión todo o nada (interfaces de diálogo hombre/máquina, salidas de autómatas programables, etc.). Los circuitos de control y de potencia están aislados galvánicamente a través de un optoacoplador o un relé herméticamente sellado.

Presentan numerosas ventajas con respecto a los contactores electromagnéticos:

- frecuencia de conmutación elevada,
 - ausencia de piezas mecánicas móviles,
 - funcionamiento totalmente silencioso,
 - limitación máxima de parásitos radioeléctricos que podrían perturbar los componentes de automatismos electrónicos cercanos (bloqueo de los semiconductores de potencia al pasar por el cero de corriente),
 - tecnología monobloc, que insensibiliza los aparatos a los choques indirectos, las vibraciones y los ambientes polvorientos,
 - circuito de control con amplio rango de tensiones,
 - consumo muy bajo que permite transmitir órdenes a través de las salidas estáticas de los autómatas programables.
- Los circuitos RC y los limitadores de cresta integrados protegen los relés y los contactores estáticos contra los cambios de tensión bruscos (dV/dt importante) y contra las sobretensiones.

Se pueden controlar en corriente continua o alterna. En corriente continua, la entrada está protegida contra la inversión de polaridades. En corriente alterna, un circuito rectificador con filtro restablece la tensión continua en el optoacoplador.

Los relés y los contactores estáticos no constituyen un aislamiento galvánico entre la red de alimentación y el receptor. Si fuera necesario, es posible realizar esta función conectando aguas arriba un contactor electromagnético que sirve para varias salidas.

Los relés estáticos

Son aparatos unipolares perfectamente adaptados para controlar cargas resistivas para regulación de hornos, aplicación que normalmente requiere una cadencia de conmutación elevada. Existen dos versiones:

- relés síncronos: la conmutación en estado pasante y el bloqueo se realizan respectivamente cuando la alternancia posterior a la aplicación de la señal de mando llega a cero y en el cero de corriente,
 - relés asíncronos: la conmutación en estado pasante y el bloqueo se realizan respectivamente después de la aplicación de la señal de mando y en el cero de corriente.
- Si se utilizan relés estáticos para alimentar los receptores polifásicos, se recomienda conectar en serie los circuitos de control para que la conmutación de todos los relés sea simultánea.

Los contactores estáticos

Estos aparatos tripolares están especialmente adaptados para el control de motores trifásicos que funcionen con cadencias elevadas.

Incluyen dos contactos auxiliares estáticos: un contacto de realimentación y un contacto compatible con las entradas de autómatas programables. Los componentes de potencia y los contactos auxiliares pasan al estado pasante con la misma señal de mando.

Existe una versión con dos sentidos de marcha que permite invertir el sentido de giro del motor permutando las fases 1 y 2 (la fase 3 no se puede conmutar). El inversor incluye un enclavamiento interno que impide controlar simultáneamente los dos sentidos de marcha.

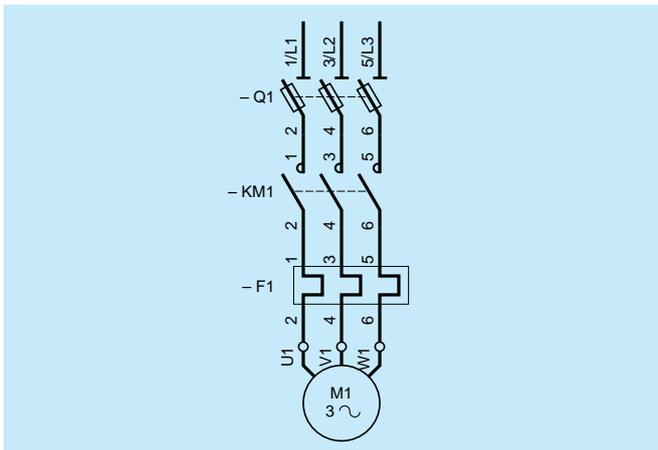
Asociación de aparatos: la coordinación

Las cuatro funciones básicas del arrancador (seccionamiento, protección contra los cortocircuitos, protección contra las sobrecargas y conmutación) también pueden realizarlas los aparatos monofunción descritos en las páginas anteriores. El calibre de los aparatos que se asocian para formar un arrancador debe elegirse teniendo en cuenta la potencia del receptor controlado y la coordinación de las protecciones cuando se produzca un cortocircuito.

(1) Riesgo de soldadura de los contactos.

Cuando se produce un cortocircuito, los esfuerzos electrodinámicos son tales que repelen los contactos del contactor originando un arco eléctrico. La energía disipada produce una fusión local del metal de los contactos.

Si los contactos se cierran cuando el metal aún está en fusión, existe riesgo de soldadura.



Asociación de seccionador-portafusibles, contactor y relé térmico

Definición de la coordinación

La coordinación de las protecciones consiste en asociar un dispositivo de protección contra los cortocircuitos (fusibles o disyuntor magnético) con un contactor y un dispositivo de protección contra las sobrecargas, con el fin de interrumpir las corrientes de sobrecarga (1 a 10 veces la corriente nominal del motor) o de cortocircuito (> 10 veces la corriente nominal) lo más rápidamente posible y sin riesgo para las personas y las instalaciones.

La norma IEC 947 exige que la coordinación sea ambivalente para:

- una corriente de cortocircuito asignada convencional “I_q”, que define el fabricante del material (por ejemplo 50 kA en 400 V para un arrancador con fusibles + contactor + relé térmico),
- una corriente de cortocircuito presumible “r”, que depende del calibre de empleo AC-3 del aparato, donde $r < I_q$ (por ejemplo para 63 A, $r = 3$ kA).

Coordinación de tipo 1 y de tipo 2

Estos dos tipos de coordinación se definen en la norma IEC 947-4. Indican el grado de deterioro tolerable para el aparellaje después de un cortocircuito.

Coordinación de tipo 1 (antiguamente “a” según IEC 292-1)

Cuando se produce un cortocircuito, es necesario evitar que el material ocasione daños a las personas e instalaciones. Después del cortocircuito, es posible que dicho material no pueda seguir funcionando a menos que se repare o se reemplacen ciertas piezas.

Coordinación de tipo 2 (antiguamente “c” según IEC 292-1)

Cuando se produce un cortocircuito, es necesario evitar que el material ocasione daños a las personas e instalaciones. Después del cortocircuito, dicho material no debe presentar desperfectos o desajustes de ningún tipo. Sólo se admite el riesgo de soldadura (1) de los contactos del contactor, a condición de que puedan separarse fácilmente. Durante la prueba no se podrá sustituir ninguna pieza, con excepción de los fusibles, que deben ser sustituidos en su totalidad.

Coordinación total

Según la norma IEC 947-6-2, cuando se produce un cortocircuito debe evitarse que los aparatos que conforman el arrancador presenten daños o riesgo de soldadura. Esta nueva norma formaliza el concepto de “continuidad de servicio”, que lanzó Telemecanique con el contactor disyuntor integral (ver la página 37).

Ejemplo de asociación

Seccionador - Fusibles - Contactor - Relé térmico

Los circuitos con fusibles incorporados consiguen un poder de corte muy elevado; el seccionador realiza la función de seccionamiento y el relé térmico la protección del motor contra las sobrecargas. En cambio, la necesidad de cortar simultáneamente todas las fases cuando se produce un cortocircuito, obliga a instalar un dispositivo de protección contra

el funcionamiento monofásico (dpfm), que a través de un contacto auxiliar, hace que el contactor se abra inmediatamente, provocando el corte omnipolar.

La siguiente tabla, extraída de un catálogo de Telemecanique, ejemplifica la elección del calibre de los fusibles, contactores y relés térmicos que se asocian en función de la potencia normalizada de los motores para formar una coordinación de tipo 2, tal y como la define la norma IEC 947-4-1.

Coordinación de tipo 2

Tensión de empleo: 380/400 V – Corriente de cortocircuito: $I_q = 50$ kA

Motor P	In (380 V)		Corriente máx. de empleo del arrancador		Fusible		Contactor		Relé térmico	
	kW	A	A	A	Tipo	Calibre A	Referencia a completar	le (AC3) A	Referencia (1)	Calibre A
0,37	1,03	1,6	aM	2	LC1-D09	9	LR2-D1306	1-1,6		
0,55	1,6	1,6	aM	4	LC1-D09	9	LR2-D13X6	1,25-1,6		
0,75	2	2,5	aM	4	LC1-D09	9	LR2-D1307	1,6-2,5		
1,1	2,6	4	aM	6	LC1-D09	9	LR2-D1308	2,5-4		
1,5	3,5	4	aM	6	LC1-D09	9	LR2-D1308	2,5-4		
2,2	5	6	aM	8	LC1-D09	9	LR2-D1310	4-6		
3	6,6	8	aM	12	LC1-D09	9	LR2-D1312	5,5-8		
4	8,5	9	aM	12	LC1-D09	9	LR2-D1314	7-10		
5,5	11,5	12	aM	16	LC1-D12	12	LR2-D1316	9-13		
7,5	15,5	18	aM	20	LC1-D18	18	LR2-D1321	12-18		
9	18,5	25	aM	25	LC1-D25	25	LR2-D1322	17-25		
11	22	25	aM	25	LC1-D25	25	LR2-D1322	17-25		
15	30	32	aM	40	LC1-D32	32	LR2-D2353	23-32		
15	30	32	aM	40	LC1-D32	32	LR2-D2355	28-36		
18,5	37	40	aM	40	LC1-D40	40	LR2-D3355	30-40		
22	44	50	aM	63	LC1-D50	50	LR2-D3357	37-50		
30	60	65	aM	80	LC1-D65	65	LR2-D3361	55-70		
37	72	80	aM	80	LC1-D80	80	LR2-D3363	63-80		
45	85	93	aM	100	LC1-D95	95	LR2-D3365	80-93		

(1) Clase de disparo de los relés de protección térmica:

- relés electromecánicos LR2-D: clase 10: referencias: LR2-D●3●●
- clase 20: referencias para modificar: LR2-D●5●●

1

Aparatos de funciones múltiples

Los aparatos de funciones múltiples reúnen en un único producto todas o parte de las cuatro funciones básicas del arrancador. Esta disposición ofrece numerosas ventajas:

- simplifica e incluso elimina los problemas de coordinación,
- reduce las dimensiones de los equipos,
- simplifica el cableado,
- facilita las reparaciones y el mantenimiento,
- requiere menos piezas de repuesto.

Los aparatos de funciones múltiples que realizan al menos dos funciones son:

- el contactor disyuntor integral,
- el disyuntor magnético,
- el disyuntor motor.

Arrancadores con aparatos de funciones múltiples

El contactor disyuntor integral constituye por sí solo un arrancador completo controlado a distancia.

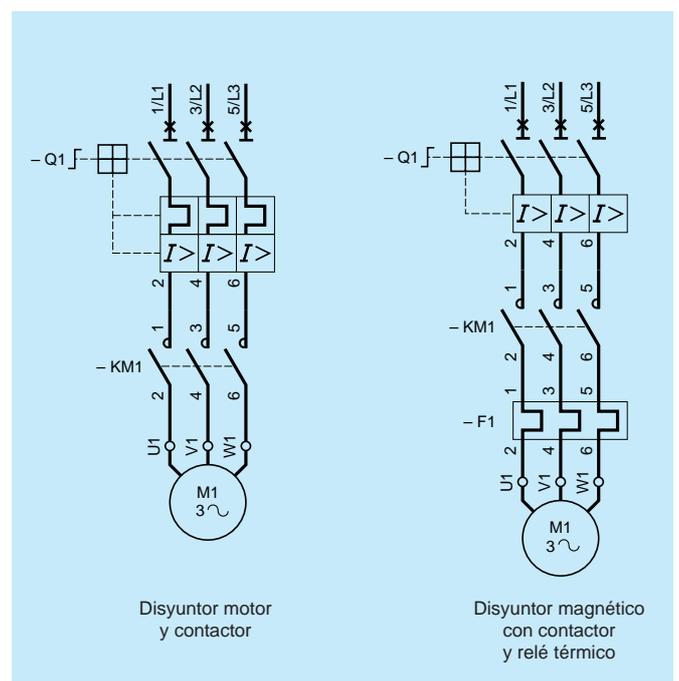
El disyuntor motor se puede utilizar solo para control local, o asociado a un contactor para controlar a distancia.

El disyuntor magnético se debe utilizar siempre con un contactor y un relé térmico.

La siguiente tabla resume las diferentes configuraciones de arrancadores realizados con aparatos de funciones múltiples.

	Disyuntor magnético	Disyuntor motor	Contactor disyuntor
Seccionamiento	sí (1)	sí (1)	sí
Protección contra cortocircuitos	sí	sí	sí
Protección contra sobrecargas	relé térmico asociado	sí	sí
Conmutación			
local manual	sí	sí	
automática	contactor asociado	contactor asociado	sí

(1) Con aparatos aptos para el seccionamiento certificados por el fabricante o con un aditivo de seccionamiento enclavable añadido.



Asociación de aparatos de funciones múltiples

El contactor disyuntor

Los contactores pueden realizar un gran número de ciclos de maniobras a cadencias elevadas, pero su limitado poder de corte no les permite interrumpir una corriente de cortocircuito. Los disyuntores pueden cortar las corrientes de cortocircuito elevadas, pero tienen un número y una frecuencia de ciclos de maniobras limitados.

El contactor disyuntor nació de la idea de reunir en un solo aparato estas dos características, es decir, la elevada frecuencia de ciclos de maniobras del contactor y el poder de corte del disyuntor.

En 1983, Telemecanique presentó el primer aparato que integraba las funciones de seccionamiento, conmutación, protección contra los cortocircuitos y protección contra las sobrecargas: el contactor disyuntor integral, cuyas prestaciones para cualquiera de estas funciones eran, además, mejores que las de cualquier aparato especializado: plena apariencia del seccionamiento, alto poder de corte de los disyuntores limitadores, durabilidad de los contactores y relés térmicos de gran calidad y precisión.

El integral se presenta como un bloque compuesto por:

- 3 o 4 polos, cada uno con un contacto de doble corte montado en una cámara de corte equipada con aletas para fraccionar y enfriar el arco,
- un electroimán clásico con un circuito fijo montado sobre amortiguadores, una armadura móvil y una bobina,
- un módulo desenchufable tri o tetrapolar magnetotérmico o sólo magnético, con varios calibres intercambiables en función de la corriente de empleo,
- eventualmente, polos de seccionamiento específicos (enclavamiento por candado).



Contactores disyuntores integral Telemecanique

Principio de funcionamiento

La principal característica del integral es la técnica de corte con polo único. En efecto, el corte lo realiza un único juego de contactos, tanto en funcionamiento "contactor" como en funcionamiento "disyuntor", que impide la soldadura en cortocircuito. Esta característica hace del integral un aparato de coordinación total.

Posición de reposo

Cuando la bobina no está alimentada, el circuito móvil se mantiene en posición abierta gracias a los resortes de retorno y provoca la apertura de los contactos a través de una palanca de apertura.

Cierre

Cuando se cierra el electroimán, la palanca libera los contactos móviles que se cierran bajo la acción de los resortes, lo que proporciona también la presión necesaria de los contactos. En estado cerrado, los contactos son totalmente independientes del electroimán.

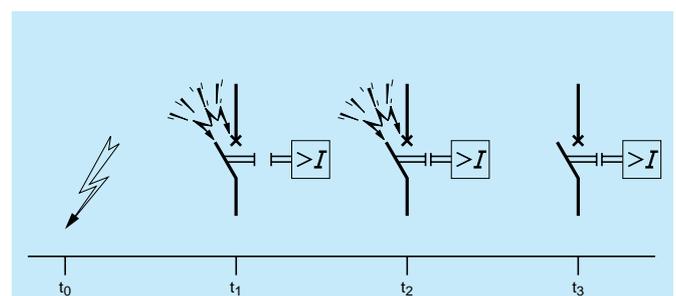
Apertura en funcionamiento contactor

Cuando la bobina deja de recibir alimentación, la palanca unida a la armadura móvil hace que se abran los contactos en un tiempo de aproximadamente 15 ms.

Apertura en funcionamiento disyuntor

La figura inferior indica la secuencia de sucesos cuando se produce un cortocircuito.

Gracias a su alta velocidad de corte (2,5 ms) y a la rápida aparición de una tensión de arco elevada, el integral puede considerarse como un excelente limitador de corriente de cortocircuito.



t₀ - Aparición del cortocircuito.

t₁ - La corriente de cortocircuito genera la repulsión de contacto generando un arco, lo que inicia la limitación de la corriente de cortocircuito. Cada contacto móvil es independiente y tiene un recorrido libre mayor que un contactor tradicional y una baja inercia que favorecen la repulsión.

t₂ - La corriente acciona el dispositivo de disparo magnético que confirma la apertura del contacto, impidiendo así que vuelva a cerrarse y que haya riesgo de soldadura.

t₃ - La corriente se anula, poniendo fin al cortocircuito.

Corte en cortocircuito con un contactor disyuntor integral

Gama integral

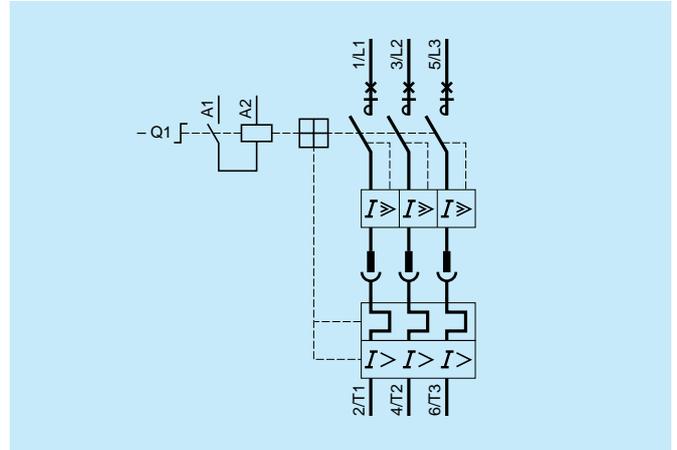
La gama de contactores disyuntores integral ofrece tres calibres:

- integral 18, potencia de empleo en AC-3 de 0,37 a 7,5 kW en 400 V/50 Hz,
- integral 32, potencia de empleo en AC-3 de 0,37 a 15 kW en 400 V/50 Hz,
- integral 63, potencia de empleo en AC-3 de 5,5 a 30 kW en 400 V/50 Hz.

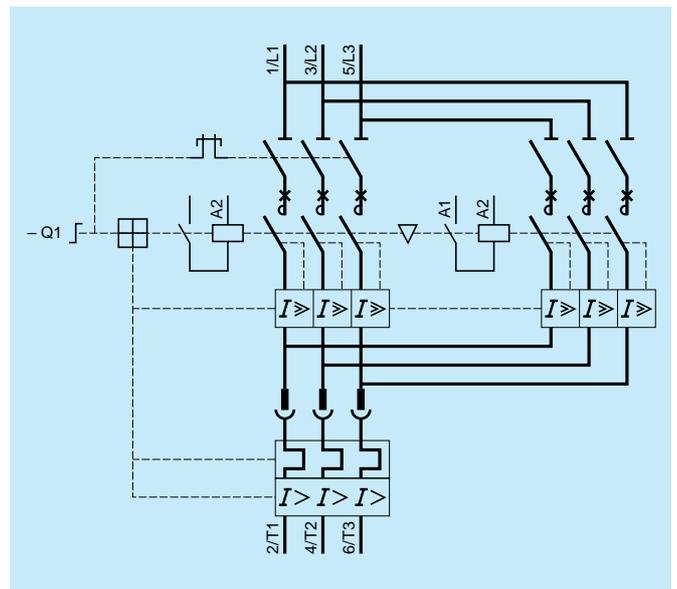
Los contactores disyuntores pueden integrarse fácilmente en los equipos de automatismo y controlarse desde autómatas programables gracias a una amplia oferta de accesorios.

Según su calibre, los aparatos de la gama integral se pueden equipar con:

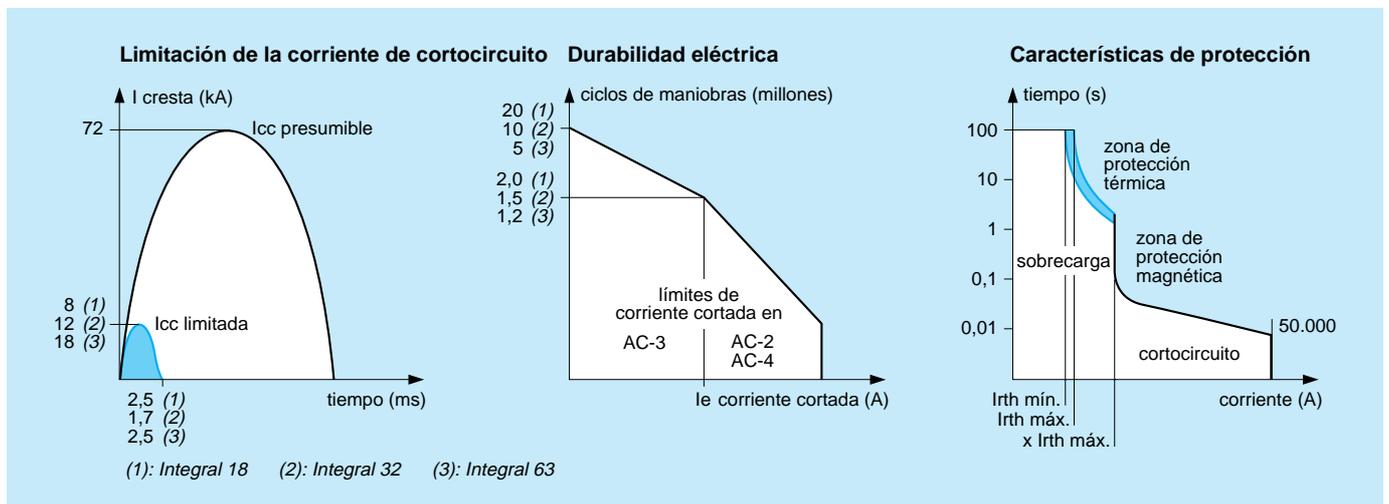
- contactos auxiliares de señalización,
- módulos de interface de relé, de relé y funcionamiento forzado o estáticos, para el control directo desde un autómata programable,
- temporizadores electrónicos "Trabajo" o "Reposo", para retrasar la orden de conexión o de desactivación,
- módulo de control "Auto-Manual-Parada",
- módulos antiparasitarios RC y varistancia,
- rearme eléctrico a distancia.



Esquema de un contactor disyuntor integral



Esquema de un contactor disyuntor inversor integral



Características de los contactores disyuntores integral

El disyuntor motor magnético

Este aparato, también llamado disyuntor, es un dispositivo de protección contra los cortocircuitos con corte omnipolar. Puede considerarse apto para el seccionamiento de acuerdo con la norma IEC 947.

En algunos modelos, el usuario puede regular el umbral de desactivación magnética.

Los aditivos seccionadores de corte visible enclavables permiten responder a determinados pliegos de condiciones. Normalmente, estos aparatos se asocian con un contactor y un relé de protección térmica para formar un arrancador.

Disyuntor motor magnético con contactor y relé térmico

Esta asociación posee un poder de corte igual al del disyuntor. Este último ofrece protección contra los cortocircuitos con corte omnipolar. El relé térmico, dotado de compensación de temperatura y sensibilidad a una ausencia de fase, protege contra las sobrecargas y contra el funcionamiento monofásico.

La frecuencia de maniobras es la misma que la del contactor. Los enlaces mecánicos y eléctricos entre el contactor y el disyuntor facilitan la conexión y permiten obtener un equipo más compacto, que se puede montar en un fondo de armario con mando sobre puerta.

Otras características:

- rearme local del disyuntor,
- rearme manual o auto del relé térmico,
- visualización local del estado de funcionamiento de los aparatos y desde el centro de control,
- clase de desactivación térmica 10 o 20,
- coordinación de tipo 1 o 2 según IEC 947-4-1,
- adaptabilidad a esquemas particulares: acoplamiento estrella-triángulo, motores con dos devanados o asociación con sondas térmicas,
- facilidad de mantenimiento gracias a la posibilidad de cambiar sólo uno de los tres componentes.



Disyuntores motores GV2-P y GV2-M de Telemecanique

El disyuntor motor magnetotérmico

Este es un aparato de control y de protección magnetotérmica tripolar. El corte es omnipolar. La protección térmica tiene compensación de temperatura y sensibilidad a una ausencia de fase. Garantiza el control de los motores con una frecuencia máxima de 25 ciclos de maniobras por hora en AC-3 y es apto para el seccionamiento.

Existen dos versiones: con pulsadores de control Marcha-Paro y con mando de control giratorio. El dispositivo de mando de ambos modelos se puede enclavar en posición "OFF".

♦ Versión con pulsadores de control Marcha-Paro

Normalmente se utiliza para el control local de motores, pero también se puede asociar con un contactor para el control a distancia. Este aparato resulta idóneo para máquinas pequeñas independientes, como las máquinas para madera. Suele montarse en cofre unitario con un pulsador "de seta" de Paro de emergencia.

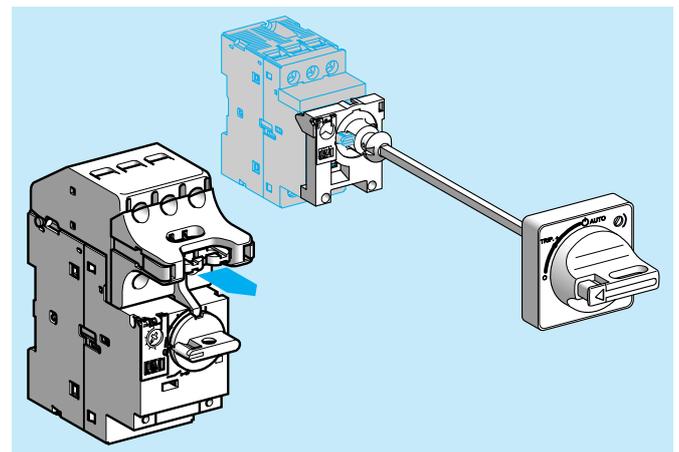
Admite los siguientes aditivos:

- contactos auxiliares instantáneos, que pueden ser reversibles NC o NA, para los circuitos de señalización del estado "Marcha" o "Paro" o la señalización de disparo magnético o térmico,
- dispositivo de disparo por mínima tensión, que impide que el receptor vuelva a ponerse en marcha inesperadamente después de un corte de alimentación de la red. Se puede utilizar para disparar a distancia el disyuntor motor. También existe un modelo específico para máquinas peligrosas que requieran una mayor seguridad (VDE 0113, recomendado por el INRS),
- disparador con emisión de tensión para disparar el disyuntor motor a distancia desde una caja de pulsadores o desde el contacto de otro aparato.

♦ Versión con mando de control giratorio

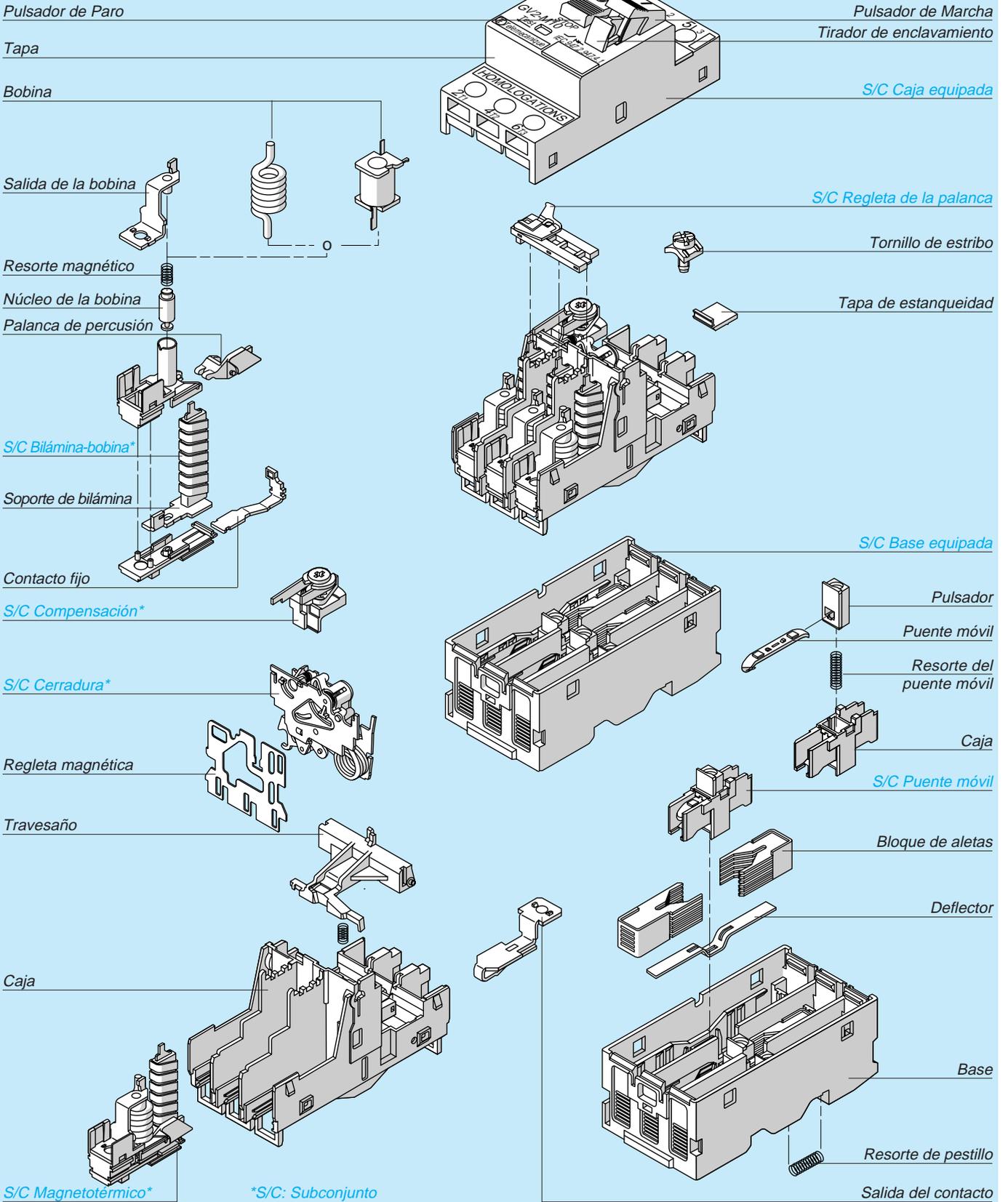
Este es un producto diseñado especialmente para el control automático a distancia en asociación con un contactor.

Además de los aditivos ya mencionados, admite accesorios seccionadores de corte visible enclavables y accesorios de señalización a distancia del disparo magnético.



Aditivo seccionador de corte visible y mando sobre puerta

Disyuntor motor magnetotérmico GV2



Arrancador con disyuntor motor aislado

Resulta especialmente recomendable cuando:

- es necesario realizar el control en modo local,
- los ciclos de maniobras son de baja frecuencia,
- es necesario utilizar un dispositivo de rearme para la protección contra los cortocircuitos,
- la falta de espacio determina la utilización de un aparato compacto que reúna las funciones de conmutación y protección contra sobrecargas y cortocircuitos, además de los pulsadores de mando.

Normalmente este aparato se monta en un cofre unitario en el que se pueden instalar un pulsador “de seta” de Paro de emergencia y un dispositivo de enclavamiento por candados.

Disyuntor motor y contactor

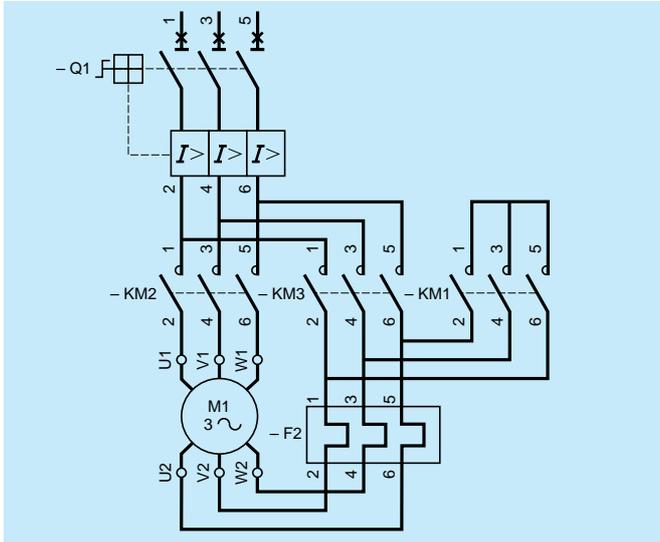
Un arrancador de control a distancia está formado por un contactor y un disyuntor motor. La frecuencia de los ciclos de maniobras es la misma que la del contactor.

Según el calibre de los aparatos asociados, se obtendrá una coordinación de tipo 1 o de tipo 2 (ver la siguiente tabla extraída de un catálogo Telemecanique).

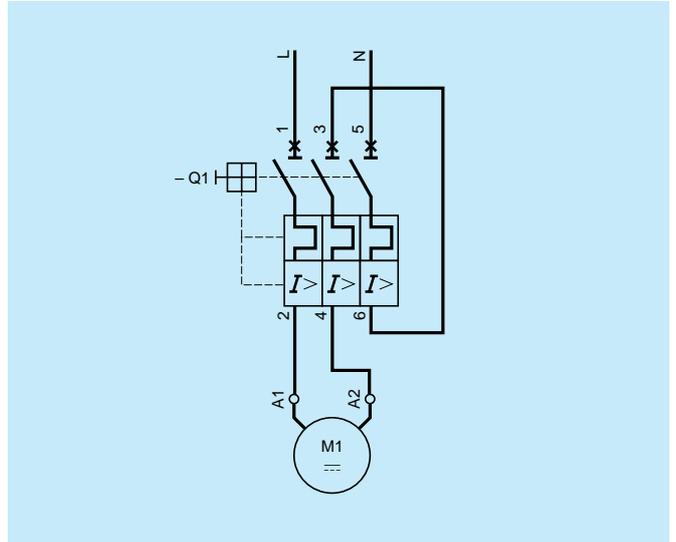
Asociación con un contactor

Coordinación (tensión de empleo 400/415 V)	Motor P (2)		I máx. de em- pleo del arrancador	Disyuntor motor		Contactor	
	kW	A		Referencia	Calibre	Referencia a completar	le (AC-3)
Tipo 2 con corriente asignada de cortocircuito condicional I _c : 50 kA	0,37	1	1,6	GV2-M06	1...1,6	LC1-D09●●●●	9
	0,55	1,6	2,5	GV2-M07	1,6...2,5	LC1-D09●●●●	9
	0,75	2	2,5	GV2-M07	1,6...2,5	LC1-D09●●●●	9
	1,1	2,5	4	GV2-M08	2,5...4	LC1-D18●●●●	18
	1,5	3,5	4	GV2-M08	2,5...4	LC1-D18●●●●	18
	2,2	5	6,3	GV2-M10	4...6,3	LC1-D18●●●●	18
	3	6,5	10	GV2-M14	6...10	LC1-D18●●●●	18
Tipo 1 con corriente asignada de cortocircuito condicional I _c : 50 kA	4	8,4	10	GV2-M14	6...10	LC1-D18●●●●	18
	0,37	1	1,6	GV2-M06	1...1,6	LC1-D09●●●●	9
	0,55	1,6	2,5	GV2-M07	1,6...2,5	LC1-D09●●●●	9
	0,75	2	2,5	GV2-M07	1,6...2,5	LC1-D09●●●●	9
	1,1	2,5	4	GV2-M08	2,5...4	LC1-D09●●●●	9
	1,5	3,5	4	GV2-M08	2,5...4	LC1-D09●●●●	9
	2,2	5	6,3	GV2-M10	4...6,3	LC1-D09●●●●	9
Tipo 1 con corriente asignada de cortocircuito condicional I _c : 15 kA	3	6,5	9	GV2-M14	6...10	LC1-D09●●●●	9
	4	8,4	9	GV2-M14	6...10	LC1-D09●●●●	9
	5,5	11	12	GV2-M16	9...14	LC1-D12●●●●	12
	7,5	14,8	18	GV2-M20	13...18	LC1-D18●●●●	18
	9	18,1	23	GV2-M21	17...23	LC1-D25●●●●	25
	11	21	25	GV2-M22	20...25	LC1-D25●●●●	25

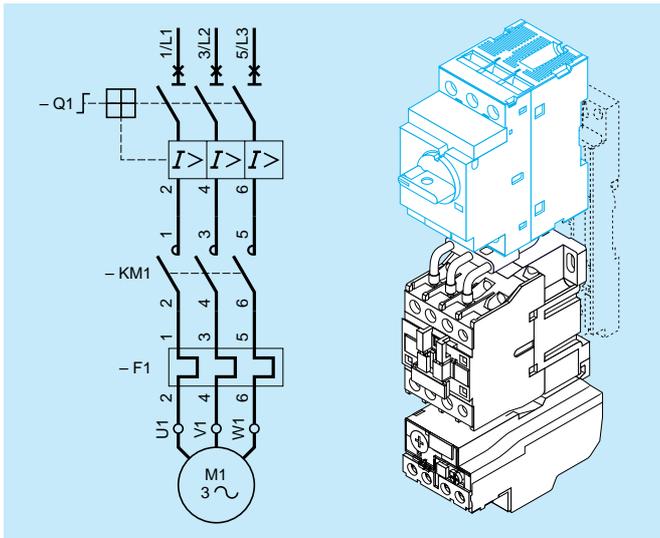
(2) Potencia normalizada de los motores.



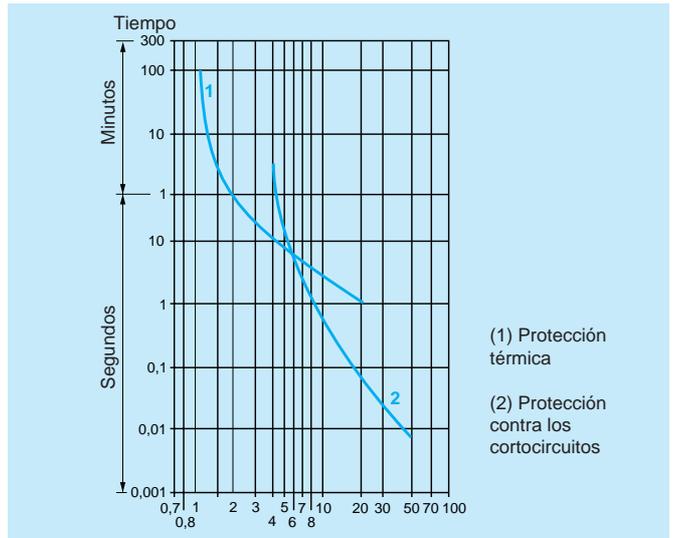
Arrancador estrella-triángulo con disyuntor motor



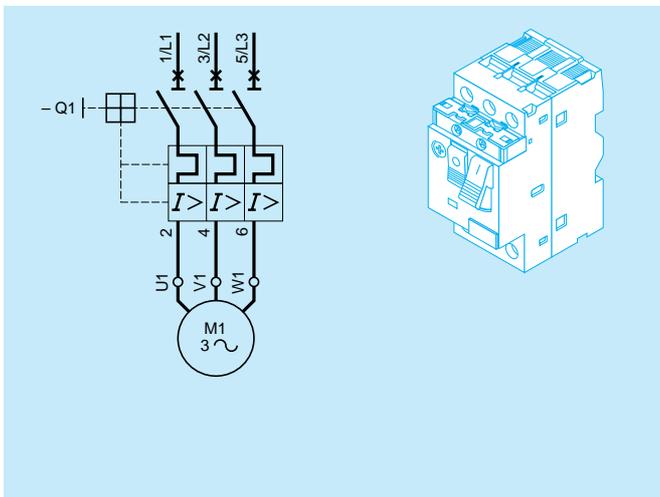
Control de un motor monofásico con disyuntor motor



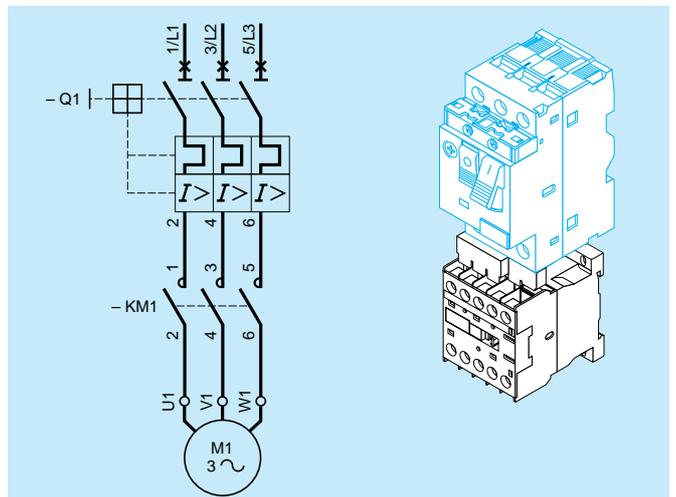
Disyuntor motor magnético + contactor + relé térmico



Curvas de disparo de un disyuntor motor GV2



Disyuntor motor magnetotérmico



Disyuntor motor magnetotérmico + contactor

Elección de un disyuntor: la selectividad

La selectividad consiste en coordinar las características de funcionamiento de los dispositivos de protección conectados en serie (por ejemplo, dispositivos de protección de arrancadores y disyuntor de protección general). Existe selectividad de las protecciones cuando se produce un fallo en cualquier punto de la instalación y se soluciona únicamente con el dispositivo de protección más cercano a dicho punto aguas arriba. De esta forma, la selectividad permite que las consecuencias de un fallo sólo afecten a la parte de la instalación donde se ha producido. La selectividad puede ser total o parcial. Es total cuando, sea cual sea el valor de la corriente de fallo, desde la sobrecarga hasta el cortocircuito franco, el aparato situado aguas abajo se abre mientras que el aparato situado aguas arriba permanece cerrado. Es parcial cuando las condiciones de selectividad sólo se respetan en un rango limitado de la corriente de fallo.

Técnicas de selectividad

La selectividad puede ser amperimétrica, cronométrica o una combinación de ambas.

♦ Selectividad amperimétrica

Utiliza la diferencia de ajuste de los umbrales de funcionamiento magnético de los disyuntores. Para que la selectividad sea total, la corriente de cortocircuito máxima en el disyuntor situado aguas abajo debe ser inferior al umbral de disparo instantáneo del disyuntor situado aguas arriba.

♦ Selectividad cronométrica

Utiliza la diferencia de los tiempos de funcionamiento entre los disyuntores situados aguas arriba y aguas abajo. Para instalarla es necesario utilizar disyuntores retardados. Es total si el tiempo de retardo del disyuntor situado aguas arriba es superior al tiempo de funcionamiento del disyuntor situado aguas abajo.

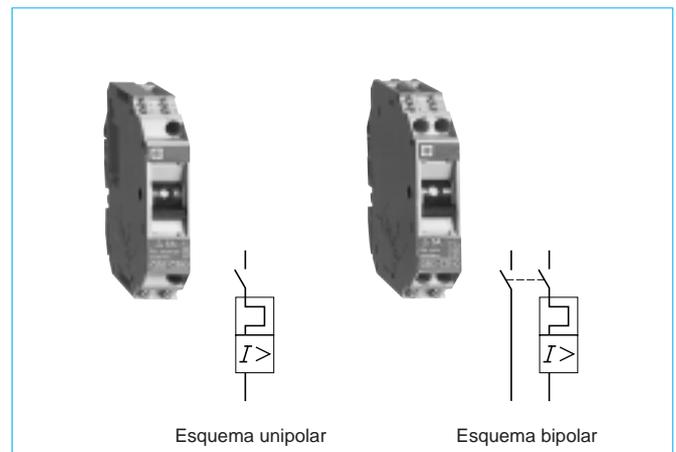
Determinación del disyuntor situado aguas arriba

Para elegir el calibre I_n del disyuntor situado aguas arriba en función del calibre de los aparatos que conforman los arrancadores $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$, se deben cumplir 2 condiciones:

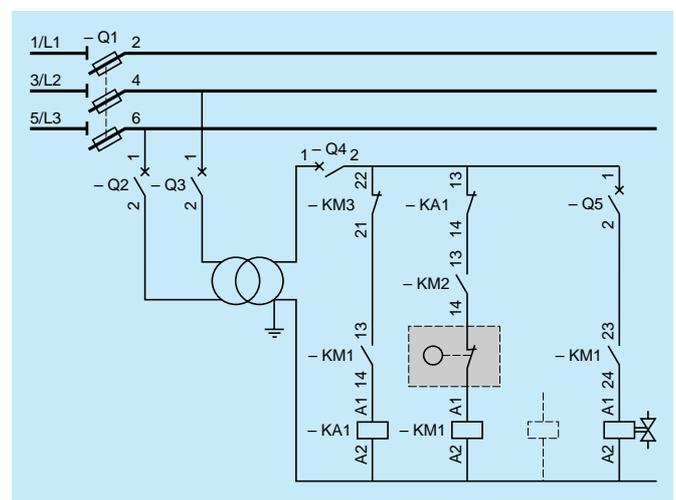
- lo debe ser mayor o igual a la suma de $I_1, I_2, I_3, \dots, I_N$
- lo debe ser superior o igual a 3 veces el calibre del aparato que conforma el arrancador más potente.

Protección de los circuitos de control y de los circuitos auxiliares

El disyuntor de control, específico para proteger los circuitos de control y auxiliares contra cortocircuitos y sobrecargas, puede utilizarse como alternativa a los fusibles. Para adecuarse a las necesidades y obtener una óptima seguridad deben elegirse calibres elevados (de 0,5 a 12 A). Existen dos versiones, unipolar y bipolar –un polo protegido y un polo cortado–, que permiten realizar esquemas de todo tipo. La utilización de un disyuntor en sustitución de los fusibles no supone ningún cambio en los esquemas, como muestra el siguiente ejemplo. Este disyuntor rearmable señala claramente el disparo y no requiere mantenimiento. La curva de mantenimiento con umbral magnético elevado lo convierte en un producto idóneo para la protección de circuitos autoinductivos, como los transformadores de alimentación de los circuitos de control, las bobinas de contactores y electroválvulas, etc.



Disyuntores de control GB2 de Telemecanique



Esquema con disyuntores de control magnetotérmicos

Componentes modulares

Los componentes modulares integran una extensa familia de productos destinados principalmente a los automatismos para naves y edificios: almacenes, grandes superficies comerciales, naves agrícolas, edificios de oficinas, naves industriales, etc. Se utilizan para la puesta en servicio, el ajuste y la optimización del funcionamiento de todos los aparatos eléctricos: radiadores, calderas de agua caliente, iluminación de escaparates, dispositivos de riego, alumbrado público, puertas y ventanas automáticas, ventilación, etc. Están diseñados de forma que se puedan montar en cuadros y cofres modulares. Todos los aparatos presentan una forma rigurosamente homogénea y unas medidas (anchura de 1 a 4 módulos de 17,5 mm) que permiten realizar equipos de dimensiones reducidas. Están fabricados con materiales prescritos en las normas de seguridad contra incendios más estrictas.

Estos aparatos garantizan la protección de las personas contra contactos directos.

Todos los aparatos son compatibles con los autómatas programables, por lo que se pueden integrar fácilmente en sistemas de gestión técnica centralizada para gestionar la energía y la seguridad de naves y edificios para uso industrial o terciario.

Contadores modulares

La principal aplicación de estos contactores es el control automático de todo tipo de receptores presentes en el edificio: resistencias de calentamiento, motores monofásicos o trifásicos, lámparas de incandescencia, tubos fluorescentes, lámparas de mercurio, etc.

Se pueden controlar a través de los termostatos, programadores, contactos de puertas, temporizadores, telerruptores, relés de prioridad, interruptores crepusculares, células fotoeléctricas, etc.

Existen en versión unipolar, bipolar, tripolar o tetrapolar, y presentan las siguientes características:

- distintas composiciones con polos de cierre o ruptores,
- visualización del estado mediante indicador mecánico frontal,
- fijación rápida mediante enganche y enclavamiento sobre perfil,
- conexión por conectores a tornillo,
- durabilidad eléctrica en AC-1 de 50.000 a 100.000 ciclos de maniobras según los modelos.

Contadores modulares con interruptor incorporado

Estos contactores están destinados a los usuarios que disponen de un sistema de doble tarificación. Incluyen en la parte frontal un dispositivo de control selectivo de cuatro posiciones:

- Paro "O": receptor fuera de servicio,
- Marcha automática "A": el contactor funciona automáticamente durante las "horas valle", lo que permite alimentar los receptores en condiciones económicas más ventajosas,
- Marcha manual "I": esta es una posición de funcionamiento forzado durante el período de "horas punta", es decir, con tarifa normal. El contactor vuelve automáticamente a la posición "Auto" en el momento del cambio de tarifa,
- Manual "MAN": es una posición de funcionamiento forzado con retorno manual a la posición "Auto".

Contadores disyuntores de instalación

Los contactores disyuntores de instalación se utilizan para el control y protección general de las líneas de distribución de alumbrado y de calefacción en edificios para uso industrial y terciario. Estas líneas suelen estar formadas por canalizaciones eléctricas prefabricadas.

Existen dos versiones:

– de control mantenido o por impulso

Lo forman un contactor de control a distancia mantenido o por impulso, y un disyuntor magnetotérmico. Incluye un mando de funcionamiento forzado local; el retorno al funcionamiento controlado a distancia se realiza manualmente;

– de control mantenido

Lo forman un contactor de control a distancia mantenido y un disyuntor magnetotérmico. Incluye un mando de funcionamiento forzado local que admite dos tipos de retorno en el funcionamiento controlado a distancia: manual o al primer impulso de la bobina.

En ambos casos, el estado de los polos (función contactor) y la desactivación por cortocircuito o sobrecarga se visualizan en la parte frontal y se pueden detectar a distancia. Las personas y los bienes se protegen a través de:

- la limitación de la corriente de cortocircuito con un accesorio limitador con umbral de funcionamiento de 1.500 A,
- el corte omnipolar,
- la prioridad de la parada local,
- la posibilidad de enclavamiento con tres candados.

Otros componentes modulares

La gama de productos modulares incluye igualmente programadores, reguladores y temporizadores electrónicos que se utilizan para controlar los contactores, formando así equipos completos a partir de automatismos simples para naves y edificios.

Portafusibles

Admiten cartuchos fusibles cilíndricos de tamaños 8,5 × 31,5 – 10 × 38 – 14 × 51 – 22 × 58.

Relés estáticos autoprotegidos

Estos relés bipolares (fase + neutro) se utilizan para controlar y proteger circuitos monofásicos resistivos alimentados en corriente alterna.

Programadores diarios o semanales

Controlan la puesta en marcha y la parada de los receptores con un programa distinto para cada día de la semana, o análogo para dos o más días, consecutivos o alternos.

Programadores termostáticos

Controlan la puesta en marcha y la parada de aparatos de calefacción; la temperatura se controla a través de un termostato. Existen tres posibilidades de calefacción: confort, reducida y antihielo.

Interruptores crepusculares

Controlan los circuitos de alumbrado en función de la luz ambiente que se mide a través de captadores crepusculares.

Relés de prioridad

Si se sobrepasa la potencia suscrita ponen fuera de servicio los circuitos no prioritarios.

Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos

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

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

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

Principales tipos de variadores

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

Rectificador controlado

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

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

Convertidor de frecuencia

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

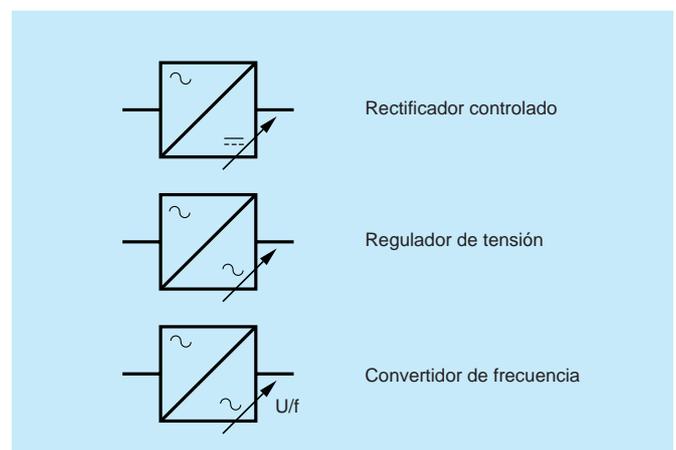
Se utiliza como variador de velocidad para motores asíncronos de jaula.

Regulador de tensión

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

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

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



Símbolos de los principales tipos de variadores

Principales funciones de los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos

Aceleración controlada

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

Variación de velocidad

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

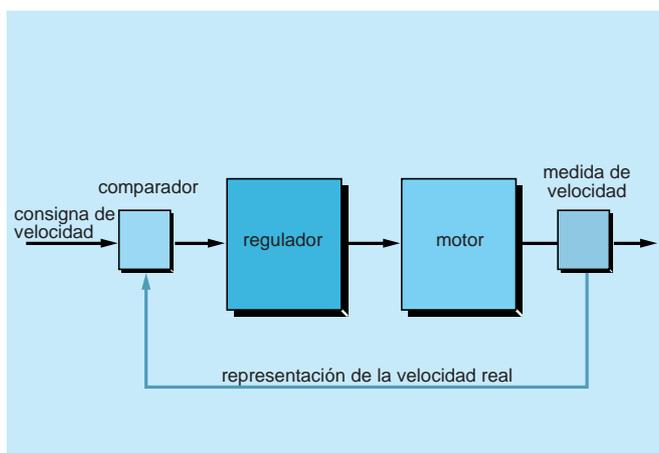
La velocidad del motor queda determinada por una magnitud de entrada (tensión o corriente) denominada consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, la velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga o de la temperatura). El rango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

Regulación de la velocidad

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

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

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



Principio de la regulación de velocidad

Deceleración controlada

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

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

Inversión del sentido de marcha

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

Protección integrada

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

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

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



Cadena de embotellado controlada con variadores de velocidad Altivar

Composición

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

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

El módulo de control

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

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

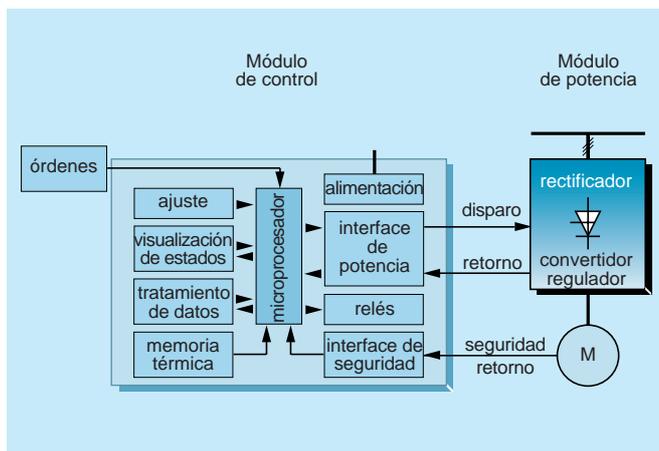
Las órdenes (marcha, parado, frenado, etc.) pueden darse a través de interfaces de diálogo hombre/máquina, autómatas programables, PC, etc.

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

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

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

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



Estructura general de un variador de velocidad

El módulo de potencia

Los elementos principales del módulo de potencia son:

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

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

Componentes de potencia

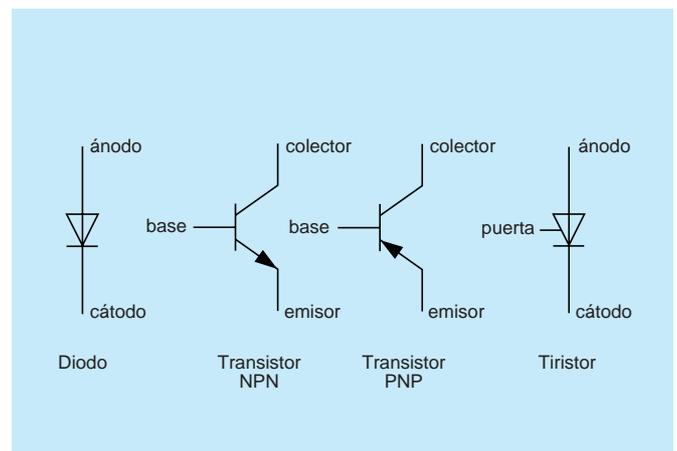
El diodo

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

El transistor

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

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



Componentes de potencia

El tiristor

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

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

El IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

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

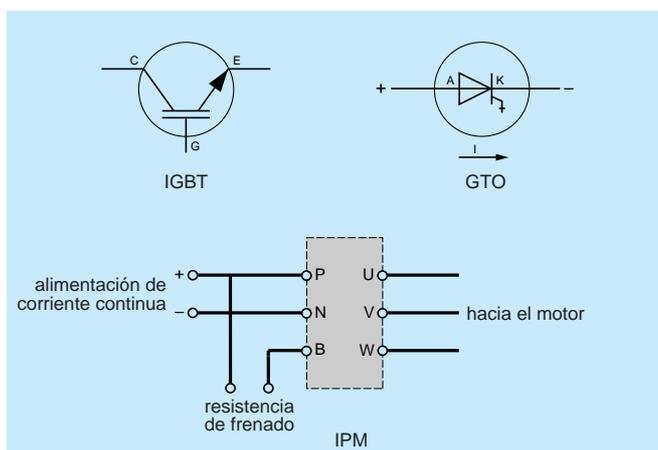
El GTO (Gate Turn off Thyristor)

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

El IPM (Intelligent Power Module)

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

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



Componentes de potencia

Principales modos de funcionamiento

Unidireccional

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

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

Reversible

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

Par constante

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

Carga arrastrante

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

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

Convertidor de frecuencia para motor asíncrono

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

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

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

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

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

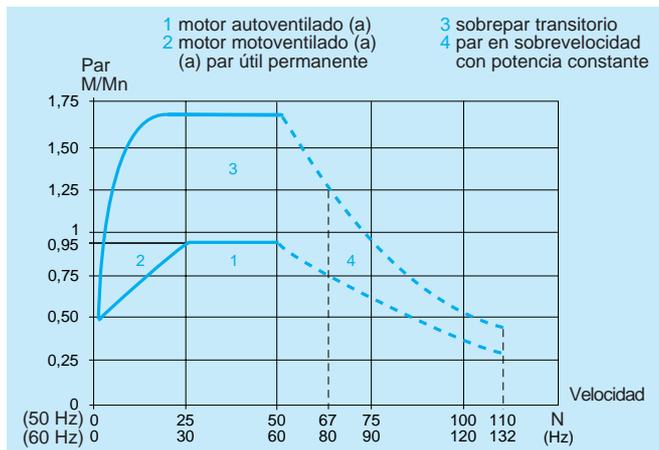
El Altivar permite crear una minired eléctrica de U y f variables, capaz de alimentar varios motores en paralelo. Consta de:

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

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

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

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



Características de par con el ATV 58

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

Regulación

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

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

Frenado de parada

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

Frenado ralentizado

Un módulo de frenado realiza una frenada controlada.

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

Control vectorial del flujo

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

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

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



Variadores ATV 18 y ATV 58 de Telemecanique

Regulador de tensión para motor asíncrono

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

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

Arrancador-ralentizador progresivo

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

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

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

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

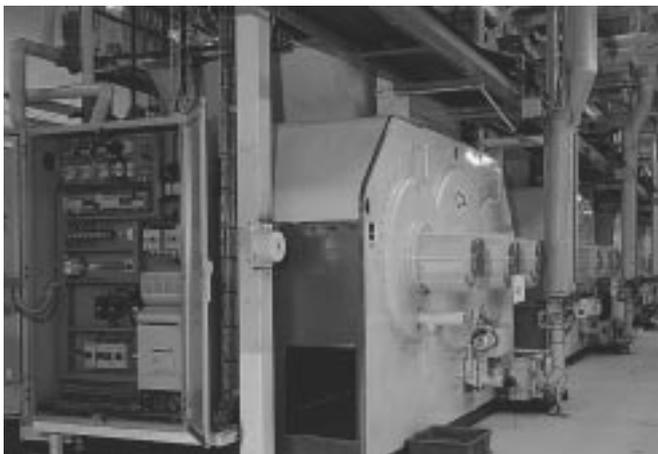
El cebado de los tiristores se gestiona por medio de un microprocesador que, además, lleva a cabo las siguientes funciones:

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

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

El Altistart permite controlar el arranque y el ralentizamiento de:

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



Elaboración de pasta de chocolate controlada con Altistart



Arrancador ralentizador progresivo Altistart de Telemecanique

Elección de un contactor

Son muchas y variadas las aplicaciones que requieren contactores. La elección del contactor con el calibre más apropiado depende directamente de las características de cada aplicación.

Los fabricantes incluyen en sus catálogos tablas que permiten determinar el calibre de los contactores en función del tipo general de aplicación (distribución o control de motores) y de las tensiones y corrientes utilizadas. Dichas tablas se establecen para:

- cadencias de funcionamiento < a 30 ciclos de maniobras por hora (los motores estándar admiten 6 arranques por hora),*
- una temperatura ambiente de 40 °C,*
- una tensión ≤ 440 V.*

En estas condiciones, un contactor puede conmutar una corriente igual a su propia corriente asignada de empleo según las categorías de empleo AC-1 o AC-3.

En los demás casos puede ser necesaria una desclasificación, es decir, utilizar un contactor de calibre superior que se determina consultando las tablas o curvas correspondientes.

Criterios de elección de un contactor

Elegir un contactor para una aplicación concreta significa fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos. Para elegir correctamente el contactor hay que tener en cuenta:

- el tipo y las características del circuito o del receptor que se desea controlar: intensidad y tipo de corriente, tensión, regímenes transitorios en la puesta bajo tensión, etc.,
- las condiciones de explotación: ciclos de maniobras/hora, factor de marcha, corte en vacío o en carga, categoría de empleo, tipo de coordinación, durabilidad eléctrica deseada, etc.,
- las condiciones del entorno: temperatura ambiente, altitud cuando sea necesario, etc.

La importancia de cada uno de estos criterios es distinta en cada aplicación. Por ejemplo:

♦ Control de un circuito resistivo

Este tipo de aplicación (por ejemplo resistencias de calentamiento) pertenece a la categoría de empleo AC-1, con un número de ciclos de maniobras reducido. El calentamiento del contactor depende principalmente de la corriente nominal del receptor y del tiempo de paso de esta corriente.

♦ Control de un motor asíncrono de jaula

La categoría de empleo de esta aplicación puede ser AC-3 (cortes con motor lanzado) o AC-4 (cortes con motor calado). El calentamiento se debe tanto al paso de la corriente nominal del motor como al pico de corriente en el arranque y a la energía de arco en el corte. Por lo tanto, con un calibre de contactor y una categoría de empleo determinados, el calentamiento será mayor cuanto mayor sea la frecuencia de ciclos de maniobras. Así pues, los criterios básicos para elegir el contactor son las categorías de empleo y la frecuencia de ciclos de maniobras.

♦ Control de receptores con un pico de corriente transitorio elevado en la puesta bajo tensión

Este es el caso de, por ejemplo, los primarios de un transformador o de las baterías de condensadores. La corriente de cresta en la puesta bajo tensión de estos aparatos puede llegar a ser más de diez veces superior a la corriente nominal. El poder de cierre asignado del contactor debe ser lo bastante alto como para que la fuerza de repulsión de la corriente transitoria no provoque la apertura no controlada ni la soldadura de los contactos. Este es pues el criterio básico para la elección de un contactor en este tipo de aplicación.

Los fabricantes elaboran las tablas de elección teniendo en cuenta todos estos criterios, lo que permite elegir cómodamente el contactor más apropiado para cada aplicación.

Elección de un contactor

Son muchas y variadas las aplicaciones que requieren contactores. La elección del contactor con el calibre más apropiado depende directamente de las características de cada aplicación.

Los fabricantes incluyen en sus catálogos tablas que permiten determinar el calibre de los contactores en función del tipo general de aplicación (distribución o control de motores) y de las tensiones y corrientes utilizadas. Dichas tablas se establecen para:

- cadencias de funcionamiento < a 30 ciclos de maniobras por hora (los motores estándar admiten 6 arranques por hora),*
- una temperatura ambiente de 40 °C,*
- una tensión ≤ 440 V.*

En estas condiciones, un contactor puede conmutar una corriente igual a su propia corriente asignada de empleo según las categorías de empleo AC-1 o AC-3.

En los demás casos puede ser necesaria una desclasificación, es decir, utilizar un contactor de calibre superior que se determina consultando las tablas o curvas correspondientes.

Criterios de elección de un contactor

Elegir un contactor para una aplicación concreta significa fijar la capacidad de un aparato para establecer, soportar e interrumpir la corriente en el receptor que se desea controlar, en unas condiciones de utilización establecidas, sin recalentamientos ni desgaste excesivo de los contactos. Para elegir correctamente el contactor hay que tener en cuenta:

- el tipo y las características del circuito o del receptor que se desea controlar: intensidad y tipo de corriente, tensión, regímenes transitorios en la puesta bajo tensión, etc.,
- las condiciones de explotación: ciclos de maniobras/hora, factor de marcha, corte en vacío o en carga, categoría de empleo, tipo de coordinación, durabilidad eléctrica deseada, etc.,
- las condiciones del entorno: temperatura ambiente, altitud cuando sea necesario, etc.

La importancia de cada uno de estos criterios es distinta en cada aplicación. Por ejemplo:

♦ Control de un circuito resistivo

Este tipo de aplicación (por ejemplo resistencias de calentamiento) pertenece a la categoría de empleo AC-1, con un número de ciclos de maniobras reducido. El calentamiento del contactor depende principalmente de la corriente nominal del receptor y del tiempo de paso de esta corriente.

♦ Control de un motor asíncrono de jaula

La categoría de empleo de esta aplicación puede ser AC-3 (cortes con motor lanzado) o AC-4 (cortes con motor calado). El calentamiento se debe tanto al paso de la corriente nominal del motor como al pico de corriente en el arranque y a la energía de arco en el corte. Por lo tanto, con un calibre de contactor y una categoría de empleo determinados, el calentamiento será mayor cuanto mayor sea la frecuencia de ciclos de maniobras. Así pues, los criterios básicos para elegir el contactor son las categorías de empleo y la frecuencia de ciclos de maniobras.

♦ Control de receptores con un pico de corriente transitorio elevado en la puesta bajo tensión

Este es el caso de, por ejemplo, los primarios de un transformador o de las baterías de condensadores. La corriente de cresta en la puesta bajo tensión de estos aparatos puede llegar a ser más de diez veces superior a la corriente nominal. El poder de cierre asignado del contactor debe ser lo bastante alto como para que la fuerza de repulsión de la corriente transitoria no provoque la apertura no controlada ni la soldadura de los contactos. Este es pues el criterio básico para la elección de un contactor en este tipo de aplicación.

Los fabricantes elaboran las tablas de elección teniendo en cuenta todos estos criterios, lo que permite elegir cómodamente el contactor más apropiado para cada aplicación.

Ejemplos de elección en función de las aplicaciones

En los siguientes ejemplos los contactores se han elegido utilizando las tablas de elección que figuran en el catálogo general de Telemecanique. Para cada tipo de aplicación, dichas tablas se han elaborado teniendo en cuenta las condiciones de explotación y entorno más habituales. Permiten elegir el contactor más apropiado rápidamente y sin necesidad de cálculos.

Los contactores también se pueden elegir según la durabilidad eléctrica deseada. En tal caso, se recomienda consultar las curvas que indican el calibre del contactor que se debe utilizar en función de la corriente cortada, y que figuran igualmente en el catálogo de Telemecanique. Dichas curvas se han utilizado en los ejemplos de elección para control de motores.

El entorno de los contactores en cada aplicación es el mismo: montaje en cofre y temperatura ambiente exterior $\leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, unos $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el entorno del aparato dentro del cofre. De este modo se aprecia mejor la diferencia del calibre elegido para cada una de las aplicaciones.

La potencia de los receptores es de 22 kW en 400 V/50 Hz (230 V para las lámparas).

Elección de un contactor para un circuito de distribución

Un circuito de distribución alimenta uno o varios cuadros de distribución o circuitos terminales, como motores, sistemas de calefacción, de alumbrado, etc.

En un circuito de distribución, el contactor se puede utilizar de dos formas distintas:

como contactor de línea

El contactor, que suele ser de gran calibre, debe asociarse con dispositivos de protección contra los cortocircuitos y las sobrecargas de las líneas de distribución.

El servicio tiene una duración prolongada y un número de ciclos de maniobras reducido. En la mayoría de los casos, el cierre se realiza en vacío y la apertura en carga normal. El poder de corte del conjunto debe ser elevado y el contactor debe estar coordinado con los demás dispositivos de protección para evitar cualquier accidente.

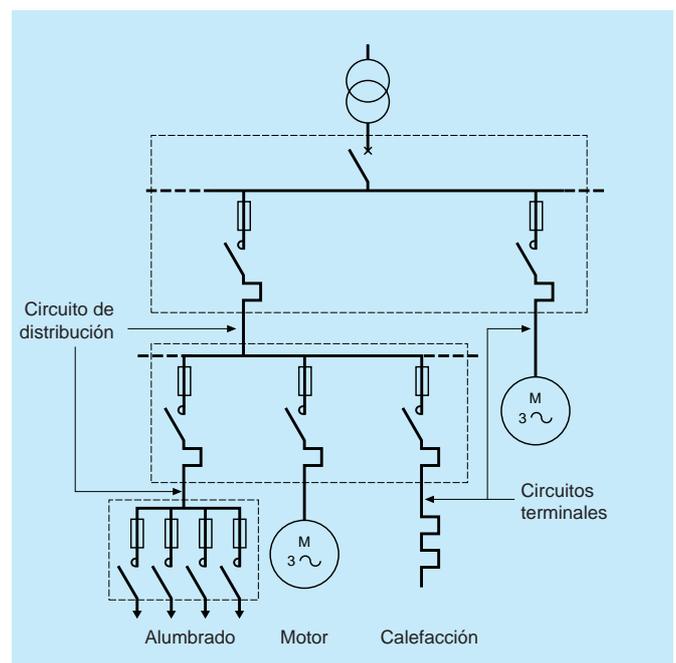
como contactor de acoplamiento

En este caso, el contactor situado corriente abajo del dispositivo general de corte se utiliza para alimentar varios dispositivos locales.

Como en el caso anterior, el servicio tiene una duración prolongada y un número de ciclos de maniobras reducido. El cierre y la apertura suelen producirse cuando no hay corriente. Por lo tanto, el $\cos \varphi$ no es relevante y sólo se tiene en cuenta la corriente térmica.

Para determinar el calibre del contactor basta con consultar la tabla de elección teniendo en cuenta:

- la corriente térmica máxima admisible en categoría AC-1 (ver la tabla de la página 60),
- la temperatura ambiente: si supera los $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede ser necesario un contactor de mayor calibre,
- la sección de los cables de conexión, que debe ser igual o menor a la indicada.



Elección de un contactor para un circuito de alumbrado

Los circuitos de alumbrado se calculan para un número determinado de puntos luminosos con potencias bien definidas. Durante la explotación pueden cambiar el número y la potencia de los puntos luminosos, pero nunca sobrepasan la potencia máxima prevista en un principio. En estas condiciones no hay riesgo de que se produzcan sobreintensidades de sobrecarga, y basta con proteger el circuito contra los cortocircuitos utilizando, por ejemplo, fusibles de distribución de clase Gg.

La elección de los contactores depende tanto del factor de potencia y de la corriente absorbida en servicio normal como de la corriente transitoria en la puesta bajo tensión de ciertas lámparas.

Lámparas de filamento

Esta aplicación requiere pocos ciclos de maniobras. Como el $\cos \varphi$ se aproxima a 1, sólo hay que tener en cuenta la corriente térmica. En la puesta bajo tensión (cuando los filamentos están fríos y, por tanto, son poco resistentes) se produce un pico de corriente que puede variar entre 15 y 20 I_n , en función de la distribución de las lámparas en la línea. Es necesario elegir un contactor capaz de establecer esta corriente de pico.

Si el circuito es monofásico, se puede instalar un contactor tetrapolar con los polos montados en paralelo de dos en dos. En tal caso, la corriente no se reparte por igual en cada polo, por lo que conviene aplicar al valor de la corriente térmica convencional del contactor un coeficiente de 1,6 en lugar de 2.

♦ Ejemplo

$U = 400$ V trifásica

Distribución uniforme de las lámparas entre las fases y el neutro, es decir, en 230 V

Potencia total de las lámparas = 22 kW

$I_p = 18$ I_n

Las lámparas están conectadas entre las fases y el neutro, por lo que la corriente de línea es de:

$$I = \frac{P}{3U} = \frac{22.000}{3 \times 230} \approx 32 \text{ A}$$

La corriente de pico llega a $32 \times 18 \approx 576$ A.

En tal caso, se puede utilizar un contactor válido, por ejemplo, para 32 A en categoría AC-1, aunque no hay que olvidar el poder asignado de corte: con un valor de cresta de 576 A y un poder de cierre con un valor eficaz, será necesario elegir un contactor con un poder de cierre de $576/\sqrt{2} \approx 408$ A.

Se puede utilizar un contactor LC1 D25 de 40 A en AC-1 para una temperatura ambiente de 40 °C (32 A en AC-1 para 55 °C) y un poder asignado de corte de 450 A.

Tubos fluorescentes

Funcionan con un ballast que absorbe una potencia adicional de aproximadamente 10 W. El factor de potencia se aproxima a 0,4 sin compensación y equivale a 0,9 con compensación. Como el condensador de compensación suele ser reducido (< 10 μ F), no se tiene en cuenta para determinar el contactor.

Para elegir el contactor de control es necesario calcular la corriente I_B que absorben las lámparas (conjuntos de tubo + ballast) según:

– el catálogo del fabricante de las lámparas,

– o la relación $I_B = \frac{n(P+p)}{U \cos \varphi}$ donde

n = número de lámparas

P = potencia de cada lámpara

p = potencia del ballast, es decir 10 W para $P = 20$ a 65 W

$\cos \varphi = 0,4$ sin compensación o 0,9 con compensación

El contactor se elige para que:

$$I_{AC-1} \text{ a } 55 \text{ }^\circ\text{C} \geq I_B/0,8$$

♦ Ejemplo

$U = 440$ V trifásico

Tubos fluorescentes compensados, conectados entre fase y neutro, con una potencia unitaria de 65 W y de aproximadamente 22 kW en total

Potencia por fase: $22/3 = 7,3$ kW

Número de lámparas por fase: $7.300/65 = 112$

Corriente total absorbida:

$$I_B = \frac{n(P+p)}{U \cos \varphi} = \frac{112(65+10)}{230 \times 0,9} = 41 \text{ A}$$

Elegiremos un contactor con una corriente de empleo asignada igual o superior a $41/0,8 = 51$ A en AC-1 y a 55 °C, es decir, un contactor LC1 D40.

Lámparas de descarga

Funcionan con un ballast, un cebador y un condensador de compensación. Aunque el valor del condensador no suele rebasar 120 μ F, hay que tenerlo en cuenta para determinar el contactor.

Para elegir el contactor hay que calcular la corriente I_B absorbida por las lámparas (conjuntos lámpara + ballast compensado) según:

– el catálogo del fabricante de las lámparas,

– o la relación $I_B = \frac{n(P+p)}{U \cos \varphi}$ donde

n = número de lámparas

P = potencia de cada lámpara

p = potencia del ballast = 0,03 P

$\cos \varphi = 0,9$

El contactor se elige para que:

$$I_{AC-1} \text{ a } 55 \text{ }^\circ\text{C} \geq I_B/0,6$$

Es necesario ratificar la elección comprobando que el valor del condensador de compensación es compatible con el contactor. Por ejemplo, la siguiente tabla, donde figuran las capacidades máximas que admiten los contactores de Telemecanique serie d:

tamaño del contactor	D09/D12	D18	D25	D32	D40/D50	D65/D80/D95
condensador μ F	18	25	60	96	60	240

♦ Ejemplo

$U = 400$ V trifásica

Lámparas de descarga conectadas entre fase y neutro, con una potencia unitaria de 1 kW y de aproximadamente 21 kW en total

Condensador de compensación = 100 μ F

Potencia por fase: $21/3 = 7$ kW

Número de lámparas por fase: $7/1 = 7$

Corriente absorbida por fase:

$$I_B = \frac{n(P + 0,03 P)}{U \cos \varphi} = \frac{7(1.000 + 30)}{230 \times 0,9} = 35 \text{ A}$$

Elegiremos un contactor con una corriente de empleo asignada igual o superior a $35/0,6 = 58 \text{ A}$ en AC-1 a 55 °C , es decir un contactor LC1 D50. Este contactor admite una compensación de $120 \mu\text{F}$ por cada lámpara.

Elección de un contactor para un circuito de calefacción

Un circuito de calefacción es un circuito terminal que alimenta uno o más elementos de calefacción resistentes controlados con un contactor.

La variación de la resistencia entre los estados frío y caliente origina un pico de corriente que nunca sobrepasa 2 o 3 I_n en la puesta bajo tensión.

Normalmente, en este circuito no se producen sobreintensidades de corriente, por lo que basta con protegerlo contra los cortocircuitos utilizando, por ejemplo, cortocircuitos fusibles de clase Gg.

Esta aplicación pertenece a la categoría de empleo AC-1: control de hornos, regulación, calefacción industrial, secado, calefacción doméstica, piscinas, cubetas, etc. Requiere pocos ciclos de maniobras.

Como el $\cos \varphi$ se aproxima a 1, sólo hay que tener en cuenta la corriente térmica convencional.

Como en el caso anterior, si el circuito es monofásico se puede utilizar un contactor tetrapolar con los polos conectados en paralelo de dos en dos.

♦ Ejemplo

$U = 400 \text{ V}$ trifásico

$P = 22 \text{ kW}$

La corriente absorbida por las resistencias es de:

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3}} = \frac{22.000}{400 \times 1,732} = \approx 32 \text{ A}$$

Elegiremos un contactor con una corriente térmica convencional de este valor como mínimo en categoría AC-1 a 55 °C , es decir, un contactor LC1 D25.

Si, por ejemplo, la alimentación fuera monofásica y la corriente térmica idéntica, podríamos utilizar un contactor tetrapolar conectando los polos en paralelo de dos en dos. En tal caso, habría que tener en cuenta una corriente de $32/1,6 = 20 \text{ A}$, lo que permitiría utilizar en la misma categoría AC-1 un contactor LC1 D12, es decir, un contactor de calibre inferior.

Elección de un contactor para un primario de transformador

Independientemente de la carga conectada en el secundario, el pico de corriente magnetizante (valor de cresta) que se produce cuando se pone bajo tensión el primario de un transformador puede llegar a ser, durante la primera mitad de onda, de 25 a 30 veces el valor de la corriente nominal. Es pues necesario tenerla en cuenta para establecer el calibre de los fusibles de protección y del contactor.

♦ Ejemplo

$U = 400 \text{ V}$ trifásico

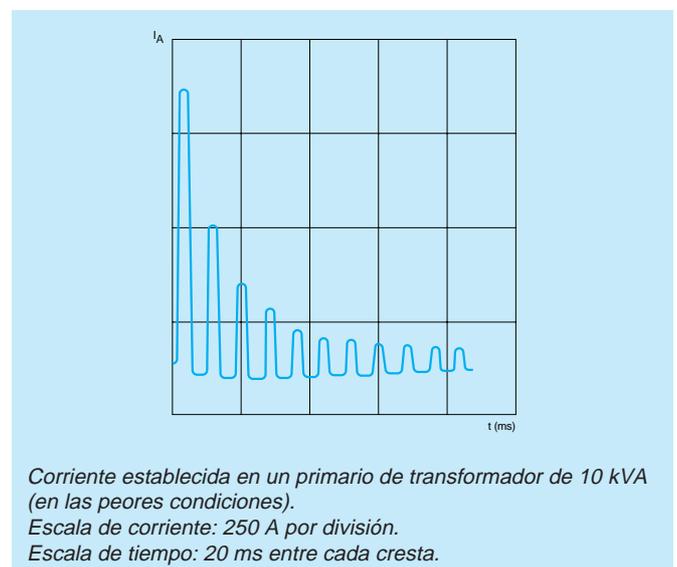
Potencia del transformador = 22 kVA

Corriente nominal absorbida por el primario del transformador:

$$I = \frac{S}{U \sqrt{3}} = \frac{22.000}{400 \times 1,732} = \approx 32 \text{ A}$$

Valor de la corriente de cresta de la primera mitad de onda:
 $I_n \times \text{pico} = 32 \times 30 = 960 \text{ A}$.

La corriente obtenida al multiplicar el poder asignado de cierre del contactor por $\sqrt{2}$ debe ser igual o superior a este valor. Por lo tanto, se necesita un contactor con un poder asignado de cierre $\geq 960/\sqrt{2} = 679 \text{ A}$, es decir, un contactor LC1 D40 con un poder de cierre de 800 A .



Elección de un contactor para acoplamiento de condensadores

El acoplamiento de los condensadores utilizados para elevar el factor de potencia de una instalación presenta las siguientes particularidades:

- en la puesta bajo tensión los condensadores se encuentran completamente descargados, por lo que el único límite del pico de corriente, que corresponde a la corriente de cortocircuito, es la impedancia de la línea y/o del transformador. Este pico de corriente, muy breve pero muy intenso, es aún mayor cuando los condensadores ya están acoplados a causa de la descarga parcial de estos últimos. Esto sucede, en concreto, cuando el factor de potencia se regula en cascada de forma automática, especialmente para el último contactor. Cuando existe el riesgo de que el pico de corriente perturbe la línea de alimentación o sobrepase el valor de la corriente de cresta que tolera el contactor, es necesario limitarla introduciendo en el circuito inductancias (algunas espiras de cable de sección apropiada) o resistencias que después del pico se dejan fuera de servicio,
- en régimen permanente, además de la corriente nominal absorbida por la batería, las corrientes armónicas circulan dentro del circuito. Como el efecto de estas corrientes es esencialmente térmico, es necesario tenerlas en cuenta para elegir el calibre del contactor,
- para favorecer la descarga de los condensadores al desconectarlas y evitar oposiciones de fase durante las operaciones posteriores, en el momento en que se abre el contactor de línea se insertan automáticamente unas resistencias en las bornas de la batería que, además, garantizan la seguridad del personal, por lo que es necesario comprobar el circuito periódicamente.

♦ Ejemplo 1

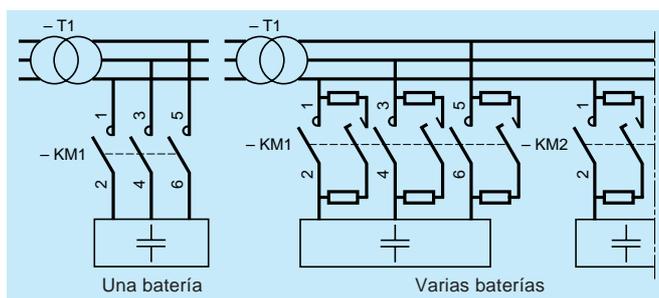
U = 400 V trifásico

1 escalón de compensación de 22 kVAr

$$I = \frac{Q}{U\sqrt{3}} = \frac{22.000}{400 \times 1,732} \approx 32 \text{ A}$$

Las normas sobre condensadores recomiendan utilizar un contactor con una corriente térmica en AC-1 igual a 1,43 veces la corriente de empleo.

Utilizar un contactor con una corriente de empleo $\geq 32 \times 1,43 = 46 \text{ A}$ en categoría de empleo AC-1 a 55 °C, es decir, un LC1 D40.



Acoplamiento de condensadores

♦ Ejemplo 2

U = 400 V trifásico

4 escalones de compensación de 22 kW cada uno

Utilizar un contactor específico con resistencias de amortiguación, es decir, un LC1 DPK12.

Elección de un contactor para un motor asíncrono de jaula Corte con motor lanzado

Esta es la aplicación más frecuente.

El funcionamiento pertenece a la categoría de empleo AC-3. Esta aplicación puede tener un número elevado de ciclos de maniobras (1).

No es necesario tener en cuenta el pico de corriente en el arranque, ya siempre es inferior al poder asignado de cierre del contactor (2).

Los contactores elegidos para estos servicios toleran sin peligro un deterioro del 0,5 % de los ciclos de maniobras con corte de motor calado: golpeteo (3), régimen AC-4 accidental.

♦ Ejemplo

U = 400 V trifásico

P = 22 kW

I empleo = 42 A

I cortada = 42 A

El contactor será un LC1 D50. Según la tabla de durabilidad en AC-3, este contactor puede realizar 1,7 millones de ciclos de maniobras.

(1) En caso de arranques largos y reiterados, será necesario tener en cuenta el calentamiento térmico de los polos.

(2) Las normas sobre contactores determinan el poder asignado de corte y de cierre de cada contactor en función de la corriente asignada de empleo. Lo mismo sucede con los circuitos de carga para establecer la durabilidad eléctrica. Gracias a esta normalización, el usuario puede elegir fácilmente el calibre del contactor para las condiciones de utilización más habituales.

(3) Alimentación muy rápida del motor para realizar, por ejemplo, breves desplazamientos. El motor se separa de la red durante el arranque, por lo que la corriente que hay que cortar es mayor que durante un corte con motor lanzado.

Elección de un contactor para un motor asíncrono de jaula o de anillos Corte durante el arranque o el frenado

Las categorías de empleo correspondientes a los motores de anillos y de jaula son, respectivamente, AC-2 y AC-4. Esta aplicación tiene un número elevado de ciclos de maniobras.

La corriente que hay que cortar es muy elevada. Con cada corte, el arco que se origina entre los contactos destruye una mínima parte del metal noble con el que están fabricados. El desgaste es más rápido que en la categoría AC-3. Para conseguir una mayor durabilidad (1) en función de la potencia cortada, hay que elegir un contactor de mayor calibre.

♦ Ejemplo

U = 400 V trifásica
P = 22 kW
I de empleo = 42 A
I cortada = 2,5 I_e, es decir, 105 A en AC-2
= 6 I_e, es decir, 252 A en AC-4.

Motor de jaula

La tabla de durabilidad eléctrica en AC-2 y AC-4 establece, para 1 millón de ciclos de maniobras y una corriente cortada de 252 A, un contactor LC1 F265 (ver el catálogo Telemecanique).

Motor de anillos

En este caso, para 1 millón de ciclos de maniobras y una corriente cortada de 105 A, la misma tabla establece un contactor LC1 F115 (ver el catálogo Telemecanique).

En la práctica, los motores nunca se utilizan en las condiciones de la categoría AC-4 que define la norma. En efecto, las principales utilidades en estas condiciones difíciles se pueden descomponer en cortes, con una corriente media de 4 I_e y el resto en AC-3. Por otra parte, con 1.000 conmutaciones diarias durante 300 días al año hay que prever que será necesario inspeccionarlos o sustituirlos sistemáticamente cada 3 años solamente. Todas estas observaciones, basadas en las condiciones de empleo reales, demuestran que las elecciones anteriormente indicadas se refieren a condiciones extremas.

(1) Durabilidad de un contactor = durabilidad eléctrica en función de la corriente cortada dividida por el número de ciclos de maniobras por hora × el número de horas de trabajo mensuales × el número de meses de trabajo anuales.

Ejemplo: $\frac{2.200.000}{50 \times 200 \times 11} = 20 \text{ años}$

(2) La corriente térmica equivalente es la corriente que provoca la misma subida de temperatura que la corriente de pico en cuestión.

Elección de un contactor para cortocircuitar resistencias estáticas

El siguiente esquema es un ejemplo de utilización del contactor KM11 para incluir en el circuito la resistencia de arranque con una corriente superior a la admitida en AC-3. Al final del arranque, el contactor KM1 cortocircuita KM11 y R. En estas condiciones, la corriente atraviesa el contactor KM11 solamente durante el tiempo que dura el arranque.

♦ Ejemplo

U = 400 V trifásica
P = 22 kW
I empleo = 42 A
I arranque = 4 I_n

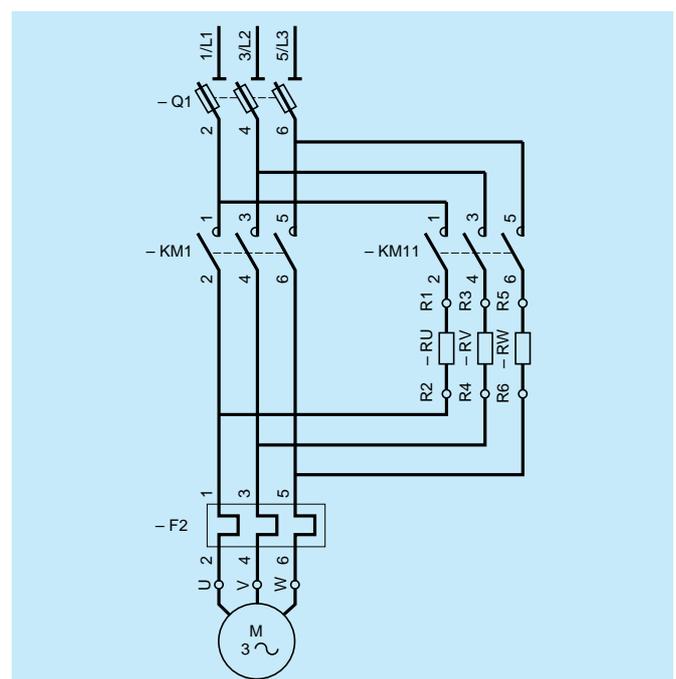
Características del arranque:

- motor bajo tensión durante 15 minutos por hora,
- duración del arranque 5 segundos.

La corriente de pico es de $42 \times 4 = 168 \text{ A}$.

Si comprobamos en la tabla de la página 60 la corriente temporal admisible, vemos que el contactor LC1 D18 tolera una corriente de 185 A durante 5 s. Resulta pues muy apropiado, especialmente si tenemos en cuenta que tiene un poder asignado de cierre (300 A) superior al del pico de corriente de arranque, de 168 A.

El contactor KM1 utilizado en categoría AC-3 se elige utilizando la tabla de la página 61. El contactor LC1 D50 es válido para una durabilidad eléctrica de 2 millones de ciclos de maniobras.



Esquema de un contactor estático

Elección de un contactor para cortocircuitar automáticamente las resistencias rotóricas

Pueden darse dos casos:

Motores sin funcionamiento por impulsos

(ni funcionamiento a velocidad reducida: arranque de bombas, ventiladores, transportadores, compresores, etc.)

Este es el caso más habitual.

Los contactores rotóricos, esclavos del contactor estatístico, sólo se abren después de que lo haga éste, cuando la tensión rotórica ha desaparecido total o parcialmente. Establecen la corriente que corresponde al pico de arranque. Este pico, elegido en función de la aplicación, depende del valor óhmico de las secciones de las resistencias introducidas en el circuito rotórico. No disminuye hasta que aumenta el tiempo de arranque. Por otra parte, el valor elegido es menor cuanto menor sea el par resistente de la máquina. En la práctica, los valores más habituales varían entre 1,5 y 2,5 veces la corriente nominal rotórica. Esta utilización se caracteriza por la facilidad de cierre y de apertura.

Sólo hay que tener en cuenta los efectos térmicos del paso de corriente.

Cuando existen varios contactores de cortocircuitado, aquellos cuyo tiempo no es igual al del último tienen un factor de marcha menor (en este caso, el factor de marcha equivale a la relación entre el tiempo de paso de corriente en el contactor en cuestión y el intervalo de tiempo entre dos arranques consecutivos). Esta circunstancia determina que la corriente que pasa durante un tiempo limitado puede ser excesiva para los contactores en servicio permanente (ver la columna "corriente temporal admisible" en la tabla de la página 60). Por el contrario, el último contactor, encargado de cortocircuitar directamente los anillos del rotor, deberá tener capacidad para funcionar en servicio permanente o, al menos, el mismo factor de marcha que el motor.

Con un contactor tetrapolar se puede aumentar la relación en 1,6 veces la corriente admitida en cortocircuitado bipolar. Si se conectan en triángulo los polos de un contactor tripolar, la corriente disminuye $1/\sqrt{3}$ veces la corriente de fase en cada polo (como si se adoptara un coeficiente próximo a 1/1,4).

♦ Ejemplo

U = 400 V trifásica

P = 22 kW

Velocidad nominal = 1.000 rpm

Corriente estatórica = 42 A

Tensión rotórica = 245 V

Corriente rotórica = 56 A

Pico de arranque = 2 In

Servicio permanente

Número de arranques/hora = 4, entre ellos 2 consecutivos

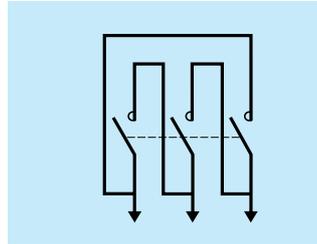
Número de tiempos de arranque = 4

Duración del arranque = 15 s

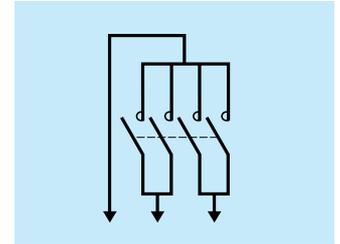
Corriente térmica equivalente al rotor durante el arranque

La corriente varía entre 1 y 2 In, es decir:

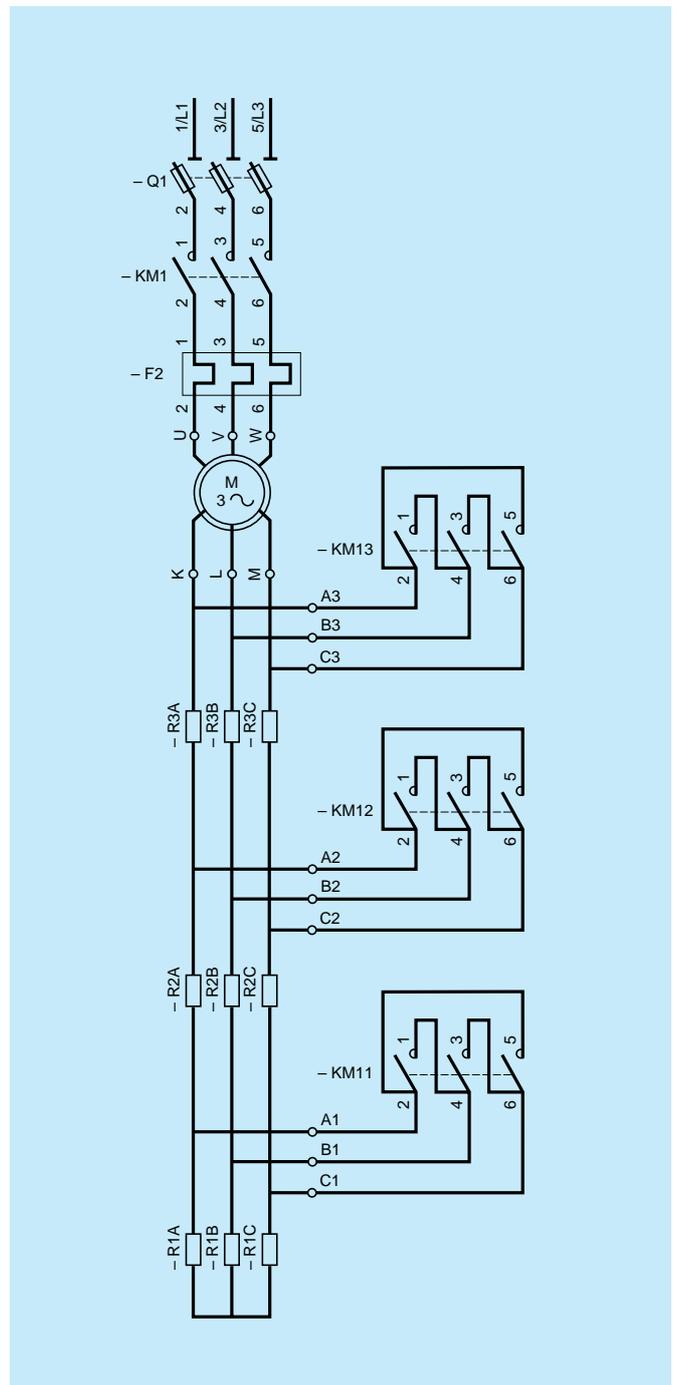
I media = 1,5 In = 56 × 1,5 = 84 A



Contactor tripolar



Contactor tetrapolar



Arrancador rotórico de 4 tiempos y contactores de cortocircuitado tripolares

Elección del contactor estático

Para una corriente nominal de 42 A en categoría AC-3, la tabla de la página 60 establece un contactor LC1 D50.

Elección de los contactores rotóricos intermedios

– tripolares (montaje en triángulo)
84/1,4 ≈ 60 A durante 15 × 2 = 30 s (2 arranques consecutivos).

Para un contactor previsto para 9 A (LC1 D09) en AC-3 y 25 A en AC-1, la tabla de la página 60 establece una corriente temporal de 76 A.

– tetrapolares (montaje en W)

Para una corriente térmica de 84 A, la utilización de un contactor tetrapolar que reduzca la corriente en cada polo a 84/1,6 ≈ 53 A, no supondría ninguna ventaja, ya que el contactor LC1 D09 es el más pequeño de la gama.

Elección del contactor de cortocircuitado directo (último tiempo de arranque)

– tripolar (montaje en triángulo)

56 A / 1,4 ≈ 40 A en servicio permanente. Para esta corriente, la tabla de la página 60 establece un contactor 40 A en la categoría AC-1 (que corresponde a 25 A en la categoría AC-3), es decir, un LC1 D25.

– tetrapolar (montaje en W)

La corriente por polo se reduce a 56/1,6 ≈ 35 A, por lo que se debe elegir un LC1 D25.

Motores de funcionamiento intermitente

Esta es una aplicación más compleja. En efecto, durante los funcionamientos por impulsos o frenados a contracorriente que determinan los tipos de servicio S4 y S5 (1), los contactores rotóricos se utilizan para cortar la corriente. Por lo tanto, no sólo deben cumplir los criterios de calentamiento, como en el caso anterior, sino tener la durabilidad que fije el usuario.

Los contactores se eligen en función de la frecuencia de maniobras, del servicio y de la durabilidad deseada, por lo que se recomienda consultar con los servicios especializados.

Elección de un contactor para un circuito de potencia en corriente continua

En corriente continua no basta con determinar el tamaño del contactor, sino que también hay que determinar el número de polos conectados en serie. Los criterios de elección son:

- la corriente asignada de empleo I_e ,
- la tensión asignada de empleo U_e ,
- la categoría de empleo y la constante de tiempo L/R,
- la durabilidad eléctrica dependiente de la potencia efectivamente cortada, cuando sea necesario.

Elección del contactor

El número de polos que se conectan en serie con una tensión determinada depende del tipo de contactor. Utilice las tablas del catálogo publicado por Telemecanique, donde figuran las características de los contactores comercializados en el momento en que realice la elección.

Los polos conectados en serie se pueden instalar en una única polaridad (*esquema a*) o repartidos entre las dos (*esquema b*).

El calibre del contactor que fija la corriente de empleo I_e se establece en función de la corriente I y de la constante de tiempo del circuito:

- sólo polos en serie: $I_e \geq I$ (*esquema a*),
- sustitución de cada polo en serie por n polos en paralelo, $n I_e \times 0,8 \geq I$ (*esquema c*).

Durabilidad eléctrica

Depende de la potencia cortada.

La durabilidad eléctrica deseada se puede conseguir, según el caso, aumentando el número de polos en serie o en paralelo, o aumentando el calibre del contactor.

(1) según la norma NF C 51-157

S4 - Servicio intermitente periódico de arranque

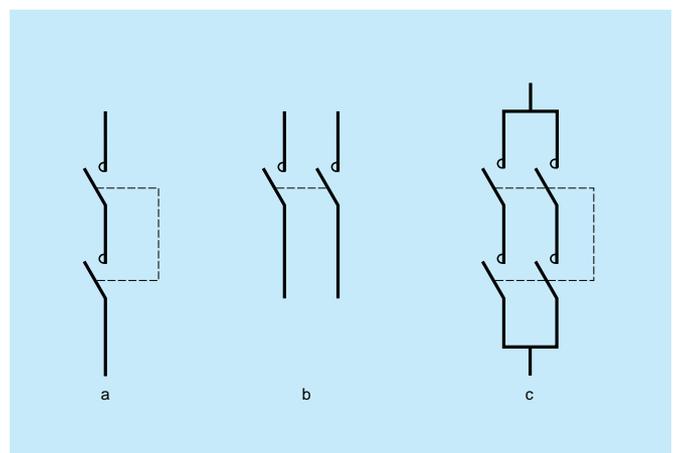
Se compone de una serie de ciclos idénticos formados cada uno por un tiempo de arranque considerable, un tiempo de funcionamiento en régimen constante y un tiempo de reposo. El motor se detiene por ralentizamiento natural después de cortar la corriente o frenando con un freno mecánico que no recaliente demasiado los devanados.

El servicio S4 se define a través del factor de marcha de cada ciclo y el número de arranques que se producen en un tiempo determinado (preferiblemente 1 hora). Hay que precisar, además, el régimen y la duración del arranque.

S5 - Servicio intermitente periódico con frenado eléctrico

Se compone de una serie de ciclos idénticos formados cada uno por un tiempo de arranque, un tiempo de funcionamiento en régimen constante, un tiempo de frenado eléctrico rápido y un tiempo de reposo.

El servicio S5 se define como un servicio S4 indicando, además, el régimen y la duración del frenado. Durante los ciclos también se pueden producir impulsos, es decir, arranques incompletos.



Características

Alimentación del circuito de control: corriente alterna

Contactores			LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	LC1-D40	LC1-D50	LC1-D65	LC1-D80	LC1-D95
Número de polos			3	3-4	3	3-4	3	3-4	3	3-4	3-4	3
Corriente asignada de empleo (Ie) (U ≤ 440 V)	En AC-3, θ ≤ 55 °C	A	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95
	En AC-1, θ ≤ 40 °C	A	25	25	32	40	50	60	80	80	125	125
Poder asignado de cierre		A	250	250	300	450	550	800	900	1.000	1.100	1.200
Poder asignado de corte	220-380-415-440 V	A	250	250	300	450	550	800	900	1.000	1.100	1.100
	500 V	A	175	175	250	400	450	800	900	1.000	1.000	1.100
	660 V-690 V	A	85	85	120	180	180	400	500	630	640	640
Corriente temporal admisible en caso de corriente nula durante los 15 min previos con θ ≤ 40 °C	Durante 1 s	A	210	210	240	380	430	720	810	900	990	990
	Durante 5 s	A	130	130	185	290	340	420	520	660	800	800
	Durante 10 s	A	105	105	145	240	260	320	400	520	640	640
	Durante 30 s	A	76	76	105	155	175	215	275	340	420	420
	Durante 1 min	A	61	61	84	120	138	165	208	260	320	320
	Durante 3 min	A	44	44	58	80	92	110	145	175	210	210
Protección por fusibles contra los cortocircuitos U ≤ 440 V	Circuito motor (aM)	A	12	16	20	40	40	40	63	80	80	100
	Con relé térmico (gG)	A	20	25	35	63	80	100	100	100	125	160
	Sin motor (gG)	A	25	25	32	40	50	60	80	80	125	125

Guía de elección

Contactores			LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	LC1-D40	LC1-D50	LC1-D65	LC1-D80	LC1-D95
Empleo en categoría AC-1	Corriente de empleo máxima según IEC 947-1 (para una frecuencia de 600 ciclos de maniobras por hora)											
	Con cable de sección	mm²	4	4	6	6	10	16	25	25	50	50
	Corriente de empleo ≤ 40 °C	A	25	25	32	32	50	60	80	80	125	125
	según la temperatura ambiente ≤ 55 °C	A	20	20	26	26	44	55	70	70	100	100
	≤ 70 °C	A	17	17	22	22	35	42	56	56	80	80

Aumento de la corriente de empleo por conexión en paralelo de los polos

Aplicar a las corrientes que figuran a continuación los siguientes coeficientes, que tienen en cuenta el reparto a menudo desigual entre los polos:
2 polos en paralelo: K = 1,6 3 polos en paralelo: K = 2,25 4 polos en paralelo: K = 2,8

Contactores			LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	LC1-D40	LC1-D50	LC1-D65	LC1-D80	LC1-D95
Empleo en categoría AC-3	Corriente y potencia de empleo (temperatura ambiente ≤ 55 °C)											
	Corriente de empleo máxima ≤ 440 V	A	9	12	18	25	32	40	50	65	80	95
	Potencia nominal 220/230 V	kW	8,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	240 V	kW	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	25
	de empleo P 380/400 V	kW	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45
	415 V (potencias normalizadas)	kW	4	5,5	9	11	15	22	25	37	45	45
	440 V	kW	4	5,5	9	11	15	22	30	37	45	45
	de los motores) 500 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	22	30	37	55	55
	660/690 V	kW	5,5	7,5	10	15	18,5	30	33	37	45	45

Frecuencias máximas de ciclos de maniobras (en función de la potencia de empleo y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C)

Factor de marcha	Potencia de empleo	LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	LC1-D40	LC1-D50	LC1-D65	LC1-D80	LC1-D95
≤ 0,85 %	P	1.200	1.200	1.200	1.200	1.000	1.000	1.000	1.000	750	750
	0,5 P	3.000	3.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.000	2.000
≤ 0,25 %	P	1.800	1.800	1.800	1.800	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Contactores			LC1-D09	LC1-D12	LC1-D18	LC1-D25	LC1-D32	LC1-D40	LC1-D50	LC1-D65	LC1-D80	LC1-D95
Empleo en categoría AC-2 y AC-4 (Ue ≤ 690 V)	Corriente cortada máxima (en función de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras (1) y del factor de marcha) (θ ≤ 55 °C) (2)											
	De 150 y 15% a 300 y 10%	A	30	40	45	75	80	110	140	160	200	200
	De 150 y 20% a 600 y 10%	A	27	36	40	67	70	96	120	148	170	170
	De 150 y 30% a 1.200 y 10%	A	24	30	35	56	60	80	100	132	145	145
	De 150 y 55% a 2.400 y 10%	A	19	24	30	45	50	62	80	110	120	120
	De 150 y 85% a 3.600 y 10%	A	16	21	25	40	45	53	70	90	100	100

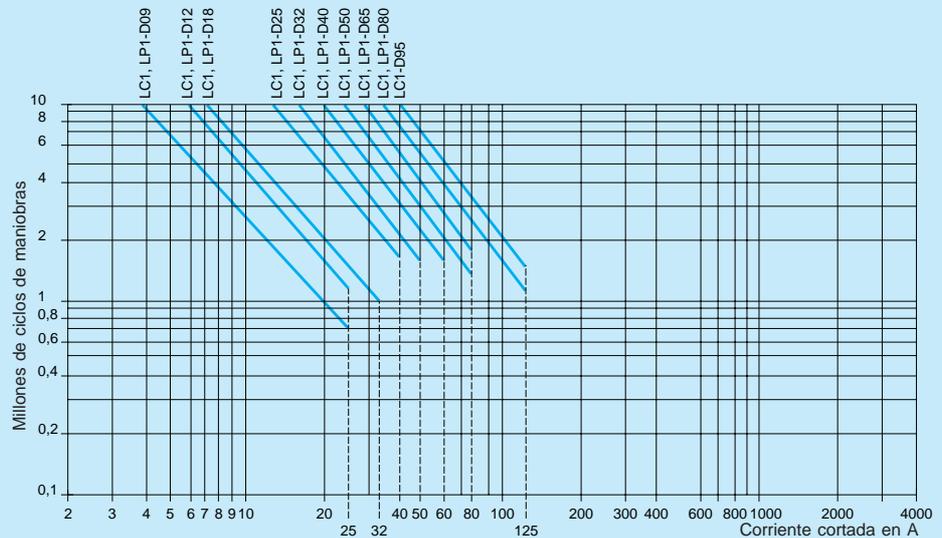
(1) No sobrepasar la frecuencia máxima de ciclos de maniobras mecánicas.

(2) Para las temperatura superiores a 55 °C, utilizar en las tablas de elección un valor de la frecuencia máxima de ciclos de maniobras igual al 80% del valor.

Durabilidad eléctrica

Categoría de empleo AC-1
($U_e \leq 440$ V)

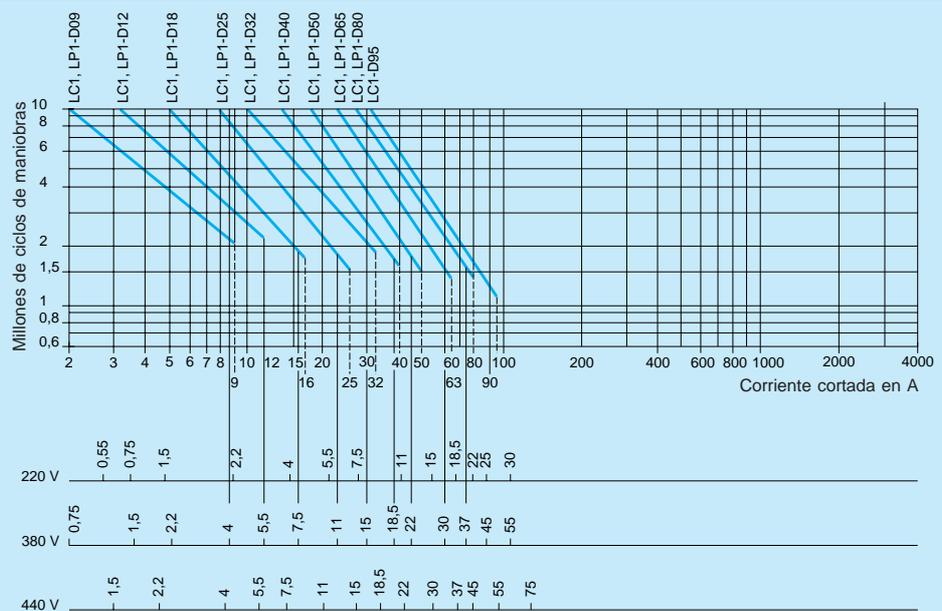
Control de circuitos resistentes ($\cos \phi \geq 0,95$).
La corriente cortada I_c en AC-1 es igual a la corriente I_e que normalmente absorbe la carga.



Durabilidad eléctrica

Categoría de empleo AC-3
($U_e \leq 440$ V)

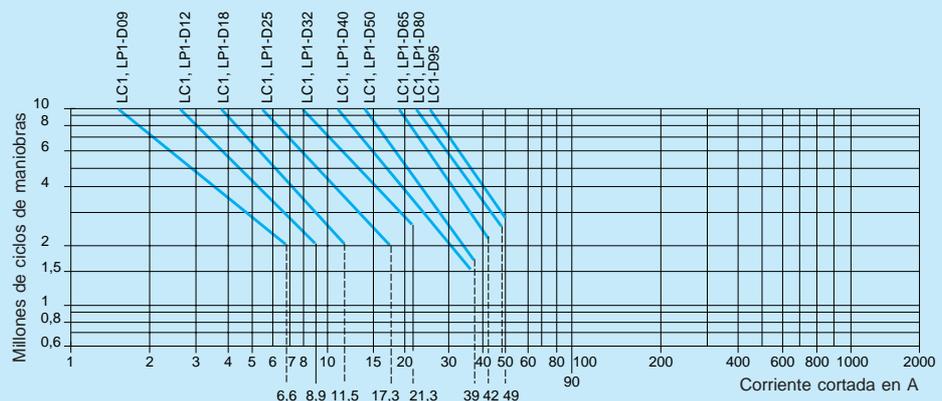
Control de motores trifásicos asíncronos de jaula con corte "motor lanzado".
La corriente cortada en AC-3 es igual a la corriente nominal I_e absorbida por el motor.



Durabilidad eléctrica

Categorías de empleo AC-2, AC-4
($U_e \leq 440$ V)

Control de motores trifásicos asíncronos de jaula (AC-4) o de anillos (AC-2) con corte "motor calado".
La corriente I_c cortada en AC-4 es igual a $6 \times I_e$. (I_e = corriente nominal absorbida por el motor).



Elección de un variador

El número de aplicaciones que requieren el uso de un variador aumenta de manera constante, aunque todavía no alcanza al de aplicaciones que utilizan un contactor.

Para las aplicaciones corrientes, que representan la gran mayoría de los casos, los fabricantes incluyen tablas en sus catálogos que permiten seleccionar y determinar el variador más adecuado.

Dichas tablas corresponden a condiciones ambientales y de funcionamiento normales en base a:

- el tipo del motor que se alimenta, alterno o continuo,
- la tensión de la red,
- la potencia del motor.

En condiciones de funcionamiento difíciles puede ser necesario considerar varias clases de variadores, por ejemplo:

- temperatura ambiente superior a 40 °C,
- altitud superior a 1.000 m, etc.

En otras condiciones de funcionamiento normales, puede ser interesante dividir los tipos de variadores en base a criterios económicos:

- máquinas que funcionan normalmente en vacío,
- máquinas de par resistente cuadrático, etc.

Todos estos datos figuran en los catálogos de los fabricantes.

Elección de un variador para un ventilador

Consideremos la necesidad de controlar un ventilador de velocidad variable, caudal máximo de 50.000 m³/h, bajo una presión de 245 Pa a una velocidad de 3000 rpm y con un rendimiento de 0,68.

ELECCION DEL MOTOR

Potencia útil máxima absorbida por el ventilador:

$$P_u = \frac{Q \times M \times P}{\eta}$$

Q = caudal de aire en m³/s
M = masa del aire = 1,293 kg/m³
P = presión en Pa o N/m²

$$P_u = \frac{50.000 \times 1,293 \times 245}{3.600 \times 0,68} = 6.470 \text{ W}$$

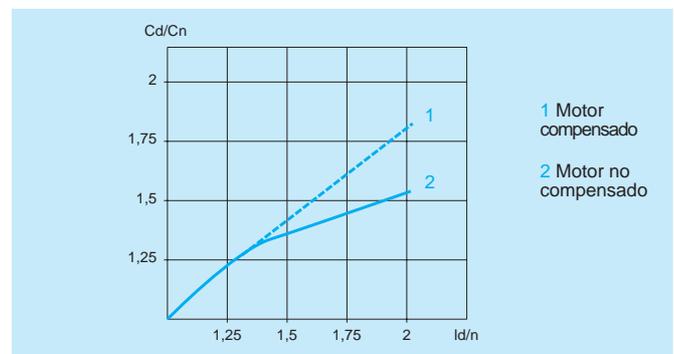
ELECCION DEL VARIADOR

El uso de un convertidor de frecuencia de tipo Altivar para alimentar el motor obliga a rebajar a 0,9 la velocidad que se considera.

$$P_m = \frac{P_u}{0,9} = \frac{6.470}{0,9} = 7.188 \text{ W}$$

es decir, un motor normalizado de 7,5 kW.

Se optará por el calibre del variador más próximo por exceso, en este caso, un Altivar de 7,5 kW, de referencia ATV-18D12N4.



Elección de un variador para un transportador de bandas

Un transportador de bandas, cuya carga es prácticamente constante, debe funcionar dentro de una gama de velocidad de 1 a 3, lo que corresponde a una velocidad del motor de 480 a 1.440 rpm. El par resistente devuelto al motor es de 7 Nm.

P útil necesaria para el transportador:

$$C \omega_n = \frac{C \cdot 2 \pi N}{60} = \frac{7 \times 6,28 \times 1.440}{60} = 1.055 \text{ W}$$

P útil que debe suministrar el motor:

$$\frac{P_{\text{motor}}}{\eta_{\text{reductor}}} = \frac{1.055}{0,9} = 1.180 \text{ W}$$

Cálculo de la frecuencia a baja velocidad

para 480 rpm, $f = \frac{50}{3} = 17 \text{ Hz}$

Debe aplicarse el

En la siguiente curva de par, debe tenerse en cuenta la rebaja de 0,8.

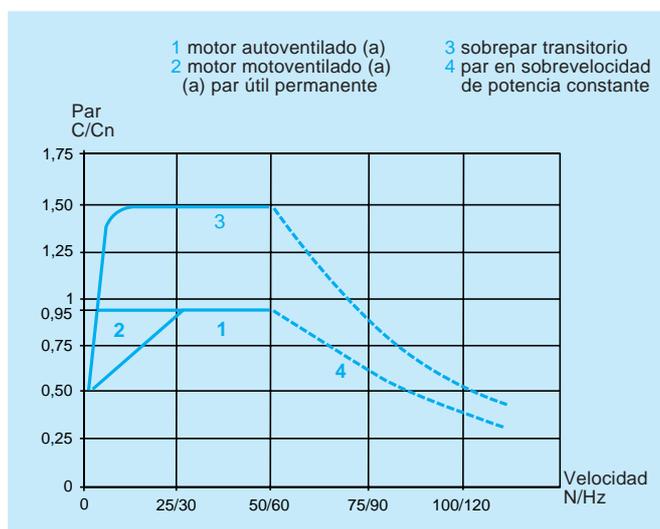
Potencia del motor

$$P = \frac{1.180}{0,8} = 1.475 \text{ W}$$

ELECCION DEL MOTOR Y DEL VARIADOR

Se optará por un motor estándar de potencia inmediatamente superior a 1.475 W, es decir 1,5 kW.

El variador de velocidad será un Altivar de 1,5 kW, de referencia ATV-18U29N4. En el caso de necesitar algunas opciones no disponibles en este equipo se podría optar por el ATV-58HUN4.



Elección de un dispositivo de protección

La siguiente tabla sintetiza toda la información sobre protección ofrecida en este capítulo. Permite tener una visión global de las posibilidades de cada dispositivo, aunque para aplicaciones concretas se recomienda consultar los artículos correspondientes y los catálogos de los fabricantes.

Dispositivos de protección	Protección contra las sobrecargas		Protección contra los cortocircuitos	Protección del personal, aislamiento	Protección contra el funcionamiento monofásico	Protección de motores de gran inercia
	Línea	Receptor				
Fusibles gG	Sí	No	Sí	Sí	No	No
Fusibles aM	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Seccionadores*	No	No	No	Sí	No	No
Seccionadores portafusibles gG*	Sí	No	Sí	Sí	Sí **	No
Seccionadores portafusibles aM*	No	Sí	Sí	Sí	Sí **	No
Interruptores-seccionadores	No	No	No	Sí	No	No
Disyuntores magnetotérmicos GB2	Sí	No	Sí	Sí	No	No
Relés térmicos	Sí	Sí protección indirecta	No	No	Sí	No salvo TC saturables
Dispositivos de sondas	No	Sí protección directa	No	No	Sí	Sí
Relés magnéticos RMI	Sí *** fuertes sobrecargas	Sí *** fuertes sobrecargas	Sí ***	No	No	No
Disyuntores-motores	Sí	Sí protección indirecta	Sí	Sí en determinadas condiciones	Sí magneto-térmicos	No
Disyuntores magnéticos	No	No	Sí	No	No	No
Contactores-disyuntores	Sí	Sí protección indirecta	Sí	Sí	Sí	Sí
Contactores-disyuntores de instalación	Sí	Sí salvo motores	Sí	Sí	No	No

* Estos aparatos deben funcionar en vacío y no en carga.

** En caso de que la fusión de un fusible provoque un funcionamiento monofásico y el aparato disponga de una protección contra el funcionamiento monofásico.

*** En caso de asociación con un contactor con un poder de corte suficiente.