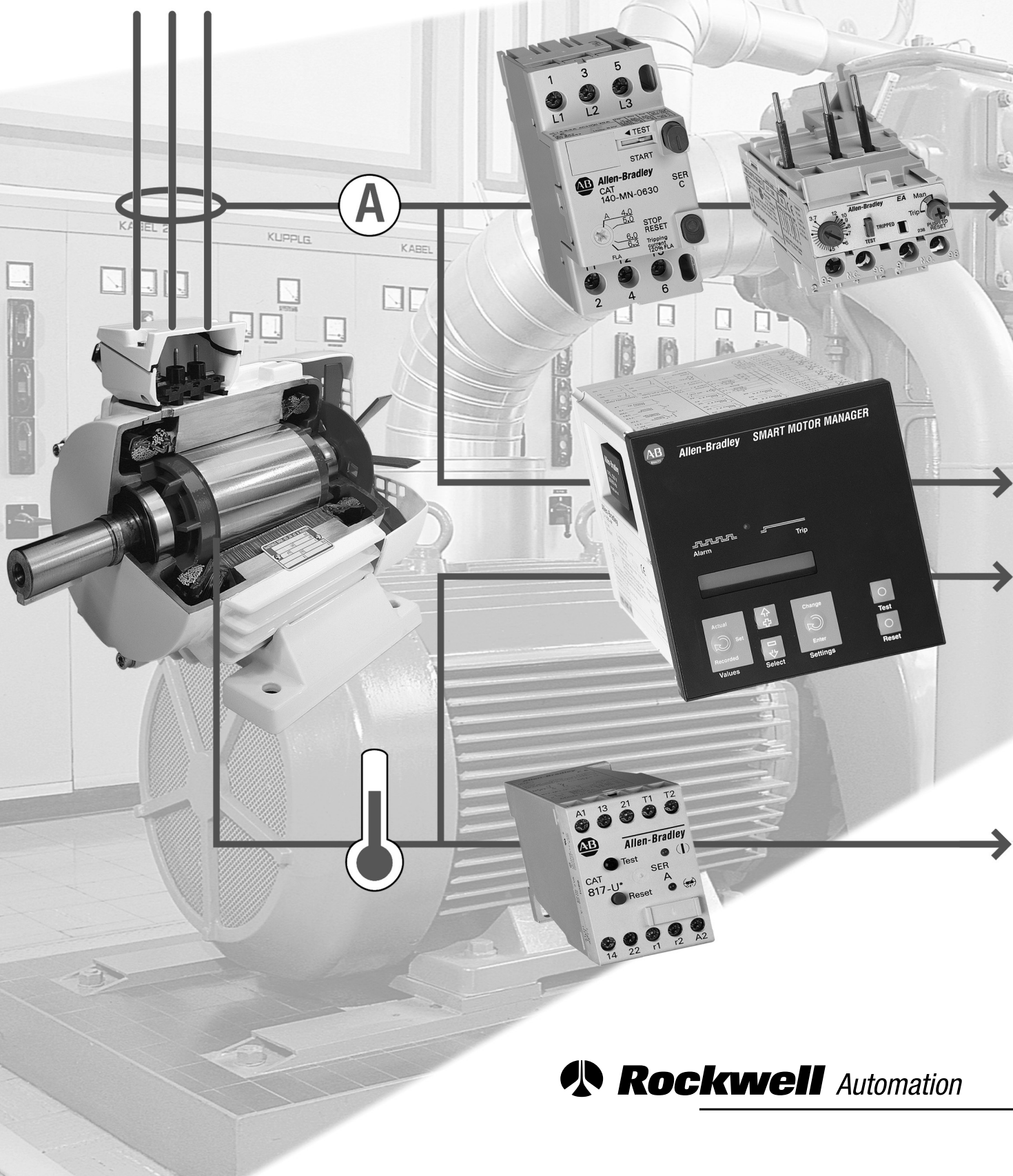


Fundamentos de Protección de motores

Necesidad de la protección de motores
Requerimientos en la protección de motores
Medidas de protección



Generalidades

Este manual técnico de “Protección de Motores” es otra publicación sobre el tema “Control de Motores”.

Con la ayuda de estos fundamentos, los cuales se publican a intervalos regulares, el usuario poseerá unas bases de trabajo crecientes en lo concerniente al funcionamiento y manejo, necesarios en el diseño y aplicación de los accionamientos y su automatización.

Los temas tratados incluyen:

- Arranque de Motores
- Selección y Operación del Circuito de Control
- Comunicaciones.

En la actualidad ya se han publicado los siguientes manuales:

- “Motores Trifásicos de Inducción” - informa sobre la estructura, modos, selección y dimensionado de motores
- “Fundamentos de los Interruptores Automáticos de Potencia” - información adicional para la utilización práctica de los Interruptores Automáticos de Potencia.

En cualquier proceso de la industria moderna podemos encontrar motores eléctricos.

La óptima utilización de los circuitos de accionamiento está acrecentando su importancia a la hora de asegurar la rentabilidad de las operaciones. El “Control de Motores” de Rockwell Automation le ayudará a:

- optimizar el uso de sus sistemas
- reducir los costes de mantenimiento
- incrementar la seguridad de las operaciones.

Sería nuestra satisfacción que nuestras publicaciones sean de ayuda para Ud. en la búsqueda de soluciones económicas y eficaces para sus aplicaciones.

Copyright © 1997, Rockwell Automation AG

Toda la información proporcionada representa el nivel actual de tecnología disponible y no posee carácter contractual.

Tabla de contenido

1	Necesidad de la protección de motores	1.1
2	Los requisitos de protección de un motor	2.1
2.1	Incremento de la Temperatura	2.1
2.1.1	Comportamiento operacional	2.1
2.1.2	Limitación de la temperatura y clases de aislamientos	2.3
2.1.3	Envejecimiento del Aislamiento	2.4
2.1.4	Límites de respuesta	2.5
2.1.5	Fallo fase	2.6
2.1.6	Asimetría en la red	2.8
2.1.7	Defectos a tierra	2.9
2.1.8	Cortocircuitos	2.9
3	Los requerimientos de protección del sistema	3.1
3.1	Bloqueos	3.1
3.2	Subcarga	3.1
3.3	Rotación incorrecta	3.1
3.4	Motores en áreas con riesgo de explosión	3.1
3.4.1	Tipo de protección contra ignición y seguridad incrementada EEx e	3.1
3.4.2	Importancia del tiempo t_E	3.2
4	Medidas de protección	4.1
5	Medidas de protección dependientes de la temperatura	5.1
5.1	Problemas de aplicación	5.1
5.1.1	Aplicaciones	5.1
5.1.2	Inercia térmica	5.1
5.2	Sensores bimetalicos en el bobinado	5.2
5.3	Sensores PTC	5.3
5.4	Sensores lineales de temperatura	5.4

6	Protección dependiente de la corriente	6.1
6.1	Función	6.1
6.2	Características del dispositivo	6.1
6.2.1	Funcionamiento a régimen constante	6.1
6.2.2	Funcionamiento intermitente	6.2
6.3	Principio de protección bimetálica	6.3
6.3.1	Función	6.3
6.3.2	Resistencia de cortocircuito	6.5
6.3.3	Operación monofásica	6.5
6.3.4	Fallo de fases	6.5
6.3.5	Tiempo de recuperación	6.7
6.3.6	Ajuste de corriente	6.8
6.3.7	Disparo Libre	6.9
6.4	Protección de motores durante el arranque en condiciones difíciles	6.9
6.5	Protección de motores en áreas peligrosas	6.10
6.6	Protección electrónica de motores	6.10
6.6.1	Protección contra sobrecargas	6.11
6.6.1.1	Modelos de simulación térmica	6.11
6.6.1.2	Ajuste de corriente	6.12
6.6.1.3	Ajuste de la temporización del disparo	6.13
6.6.2	Funciones especiales de protección de motores	6.14
6.6.2.1	Fallo de fases	6.14
6.6.2.2	Asimetría	6.14
6.6.2.3	Derivaciones a tierra	6.15
	Derivaciones a tierra utilizando el método "Holmgreen" (redes críticas con tierra)	6.15
	Derivaciones a tierra utilizando transformadores acumuladores de corriente	6.16
	Protección contra pérdidas en redes de media tensión	6.16
6.6.2.4	Protección contra cortocircuitos en los motores de media tensión	6.21
6.6.3	Funciones de protección del sistema	6.22
6.6.3.1	Sobrecargas elevadas y bloqueos	6.22
6.6.3.2	Subcargas	6.23
6.6.3.3	Protección contra rotación incorrecta	6.24
6.6.3.4	Control del tiempo de arranque	6.24
6.6.3.5	Bloqueos durante el arranque	6.25
6.6.4	Funciones de control	6.26
6.6.4.1	Pre-alarmas	6.26
6.6.4.2	Control de la carga	6.26
6.6.4.3	Seguro de re arranque	6.26
6.6.4.4	Conmutación estrella triángulo	6.27
6.6.4.5	Arranque en caliente	6.28
6.6.4.6	Posibilidades de comunicación	6.29

6.6.5	Aplicaciones de sobrecargas electrónicas de motores	6.29
6.6.5.1	Motores de baja inercia térmica	6.29
6.6.5.2	Motores de alta inercia térmica	6.30
6.6.5.3	Motores de rotor crítico	6.30
6.6.5.4	Motores de media tensión	6.30
6.6.5.5	Motores de anillos rozantes	6.31
6.6.5.6	Motores multi - etapa	6.31
6.6.5.7	Motores controlados por convertidor de frecuencia	6.32
6.6.5.8	Arranque suave o estático	6.32
6.6.5.9	Motores con ventilación remota	6.33
6.6.5.10	Temperatura ambiente incrementada	6.33
6.6.5.11	Motores en zonas peligrosas	6.33
6.6.5.12	Protección de motores compensados	6.34
 7	 Selección de la sobrecarga del motor adecuada	 7.1
7.1	Selección dependiente de la aplicación	7.2
7.2	Selección en función del motor y del dispositivo	7.3
7.3	Selección dependiendo de las condiciones ambientales	7.4
7.4	Selección de acuerdo con los criterios de control de motores	7.5

1 Necesidad de la protección de motores

Es asumible que los dispositivos motrices que han sido adecuadamente planificados, dimensionados, instalados, operados y mantenidos no han de sufrir averías. En la vida real, sin embargo, dichas condiciones rayan en lo ideal. La frecuencia de averías de los diferentes motores difiere, puesto que depende de las diferentes condiciones específicas de funcionamiento.

Las estadísticas nos muestran que es de esperar unos intervalos de paradas anuales entre el 0,5...4%. La mayoría de los problemas son debidos a sobrecargas. Los fallos en el aislamiento de los conductores, defectos a tierra, cortocircuitos entre espiras o cortocircuitos en el bobinado, son debidos a una tensión excesiva, o también a la contaminación por humedad, aceite, grasa, polvo o productos químicos.

El porcentaje aproximado de cada una de estas causas individuales es de:

- sobrecarga 30%
- daños del aislamiento 20%
- fallos de fases 14%
- daños en cojinetes 13%
- envejecimiento 10%
- daños en el rotor 5%
- otros 8%

Por lo tanto, se han de observar los siguientes puntos para garantizar un trabajo libre de averías por parte de un dispositivo motriz eléctrico:

- Diseño adecuado: se ha de seleccionar el motor adecuado a cada aplicación.
- Operación profesional: la instalación profesional y el mantenimiento regular son condiciones previas para una operación libre de averías.
- Adecuada protección del motor: ésta ha de cubrir todas las posibles áreas de problemas.
 - No se disparará antes de que el motor se encuentre en situación de riesgo.
 - Cuando dicha situación se dé, el dispositivo de protección se activará antes de que se produzca cualquier tipo de daño.
 - Si el daño es imprevisible, el dispositivo de protección se activará rápidamente para restringir al máximo la extensión de los daños.

La Tabla 1.2.1 representa un resumen de las causas de avería más frecuentes en motores, su extensión y los posibles daños causados.

Causa	Efecto	Posible daño
Sobrecarga térmica: • Condiciones de arranque extremas • Rotor bloqueado • Alta sobrecarga • Baja tensión en • Operación intermitente	sobreintensidad y, por tanto, inaceptable calentamiento en los bobinados	daños en empalmes soldados jaula del rotor bobinados quemados bobinados del estator
Problemas de enfriamiento: • Enfriamiento restringido • temperatura ambiente muy elevada	inaceptable calentamiento	bobinados quemados bobinados del estator
Causas eléctricas: • condiciones de una sola fase • tensión desequilibrada • defecto a tierra • espiras cortocircuitadas • bobinado cortocircuitado	desequilibrio sobreintensidad calentamiento dependiente del tamaño del motor	bobinados individuales o parte de los bobinados bobinados quemados carga por cojinete averiado
Causas mecánicas: • cabeceo • desalineamiento • dispositivo inadecuadamente instalado (ej., carga elevada en cojinetes a causa de correas trapecoidales demasiado tensas)	desgaste de cojinetes desigual	cojinetes dañados

Tab. 1.2.1 Causas de averías, efectos y posibles daños del motor.

2 Requisitos de protección del motor

2.1 Incremento de la Temperatura

De acuerdo con las normas aplicables, todos los fabricantes de motores garantizan que las partes críticas de la máquina permanecen dentro del rango de temperaturas permisibles durante la operación en las condiciones especificadas y que las sobrecargas de corta duración no dañan el motor.

El dispositivo de protección del motor, por un lado, ha de permitir la plena utilización de éste y, por tanto, el funcionamiento eficaz de dicho motor, y, por otro lado, ha de ser capaz de reaccionar lo suficientemente rápido en caso de sobrecarga.

2.1.1 Comportamiento operacional

Los motores eléctricos son transformadores de energía. Absorben energía eléctrica y la transforman en energía mecánica. Dicho proceso produce pérdidas de energía, que se manifiestan en forma de calor. Las pérdidas totales de energía se dividen en dos componentes:

- *Pérdidas independientes de la corriente:* son prácticamente constantes, lo que significa que también se dan cuando no hay carga.
 - pérdidas del núcleo causadas por los cambios de polaridad y las corrientes de histéresis
 - pérdidas mecánicas a causa del rozamiento y de la fricción con el aire
- *Pérdidas dependientes de la corriente:* se incrementan con la carga, p. ej. con la corriente incrementada.
 - pérdidas I^2R en el estator
 - pérdidas I^2R en el rotor

La pérdida de potencia se incrementa aproximadamente en proporción al cuadrado de la corriente. Esto último es, al menos, proporcional al deslizamiento del motor. De acuerdo con la **Figura 2.2.1**, para un rotor estático o bloqueado, la máxima corriente de arranque en el estator es de $4...8 I_n$. Toda la potencia de entrada se transforma en calor. Si el rotor permanece bloqueado la temperatura de los bobinados de ambos, rotor y estator, se incrementa considerablemente, pues sólo se disipa parte del calor por la carcasa y esto con retraso. Si el motor no se desconecta a tiempo, los bobinados del rotor y del estator se pueden quemar.

Las pérdidas por calor generado se reducen con el incremento de la velocidad. Después del arranque la temperatura se incrementa siguiendo una ley exponencial, según se muestra en la **Figura 2.2.2**, hasta alcanzar el nivel de temperatura final. Para cargas más elevadas, la temperatura final será correspondientemente más elevada.

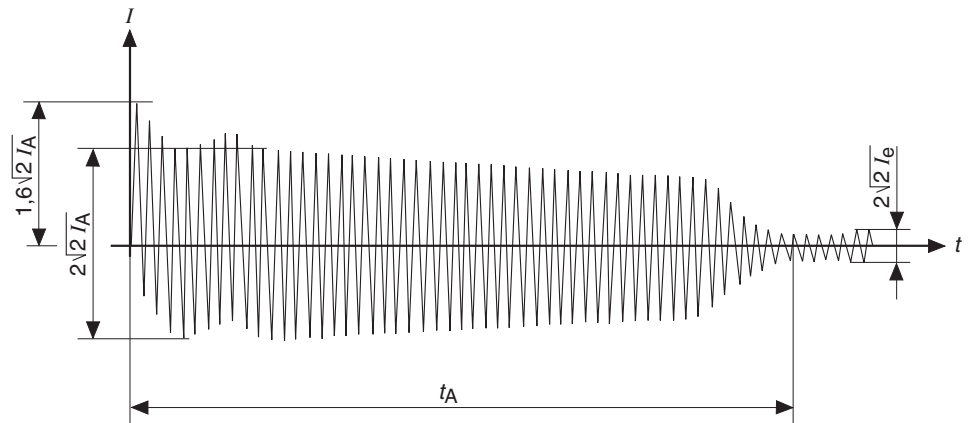


Fig. 2.2.1 Motor de jaula de ardilla conectado directo a la línea (DAL).

Durante el periodo de arranque t_A , fluye una corriente de arranque del motor muy elevada I_A . Ello no produce un calentamiento excesivo si el intervalo de arranque permanece por debajo del límite especificado por el fabricante del motor, el cual suele ser de 10 seg. El desequilibrado y corto pico de corriente de arranque se puede ignorar.

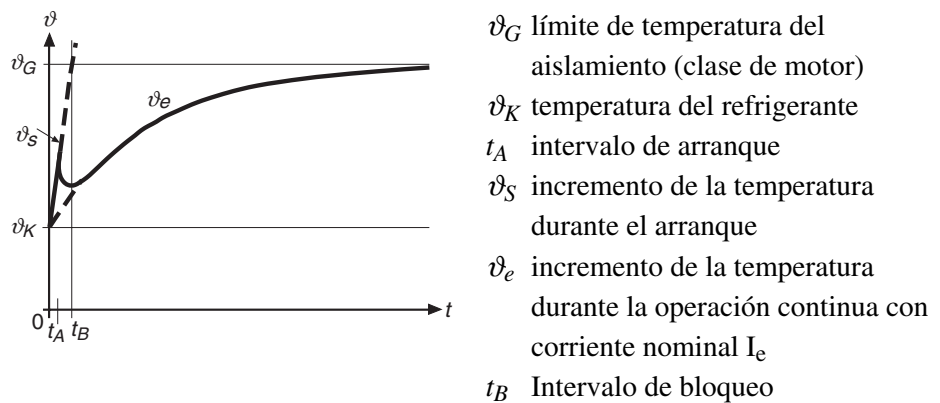


Fig. 2.2.2 Incremento de la Temperatura en el bobinado del motor

Debido a la elevada corriente de arranque I_A , la temperatura del bobinado se incrementa durante el intervalo de arranque t_A muy rápidamente. Después del arranque, la temperatura cae temporalmente, puesto que el calor es transferido al cuerpo del motor. Si el rotor permanece bloqueado, los bobinados alcanzarán su límite de temperatura muy rápidamente.

Los motores eléctricos son sistemas no homogéneos, térmicamente hablando. Los bobinados, el hierro del estator y del rotor poseen una capacidad y una conductividad térmicas diferentes. Una vez arrancado y durante las variaciones de carga, se lleva a cabo una compensación de la temperatura entre las diferentes partes de la máquina. El calor fluye desde el bobinado caliente hacia el hierro más frío, hasta que se logra el equilibrio de temperatura.

2.1.2 Limitación de temperatura y tipos de aislamiento

Las temperaturas limitadas del bobinado y, por tanto, la carga permisible del motor vienen determinadas, ante todo, por el aislamiento del bobinado. Las recomendaciones IEC para máquinas eléctricas (IEC 34-1 e IEC 85), así como la Regulación VDE 0530 Parte 1, aparecen listadas en la **Tabla 2.3.1**. Existe una diferencia entre:

- *Temperatura máxima del refrigerante*: el motor puede entregar su potencia nominal a dicha temperatura.
- *Temperatura límite en K* es el valor medio de las mediciones de resistencia. La temperatura del bobinado es la suma de la temperatura del refrigerante y del calentamiento del bobinado. Si la temperatura del refrigerante está por debajo de 40 °C, se puede incrementar la carga del motor. Si pasa de 40 °C, la carga se deberá reducir.
- *Temperatura máxima permanente permisible en °C* para el punto más cálido del bobinado.

Clase de aislamiento	Temp.máx.- refrigerante en °C	Temp. por encima- del límite en K	Temp máx. constante permisible en °C
E	40	75	120
B	40	80	130
F	40	105	155
H	40	125	180

Tab. 2.3.1 Clases de materiales aislantes y máxima temperatura constante permisible en el bobinado

La Temperatura máxima constante permisible de los materiales de aislamiento individuales se compone de la temperatura del refrigerante, la temperatura por encima del límite y la tolerancia en el calentamiento. Este último es un factor de seguridad, debido a que la medición de temperatura por medio de resistencia óhmica no establece el punto más cálido del bobinado.

Los motores con aislamiento especialmente resistente al calor se fabrican para temperaturas ambientales elevadas. Estas máquinas también pueden lograr entregar su potencia nominal con elevadas temperaturas del refrigerante.

Con mucho, el tipo de refrigeración mas ampliamente distribuido es la autoventilación, utilizando el aire ambiental. Utilizando un ventilador montado en el propio eje, los motores autorefrigerados hacen circular una corriente de aire a través del motor. Esto significa que el refrigerante - aire - posee la misma temperatura que el área inmediatamente alrededor del motor. La capacidad de enfriamiento depende de la velocidad del motor.

Debido a su sencilla estructura (sin aislamiento), los rotores normales de jaula de ardilla no poseen una temperatura crítica. Por ello, es permisible que alcancen temperaturas superiores de forma constante.

Pueden existir problemas durante el arranque de motores de media tensión y de tamaños mayores de baja tensión, puesto que el valor de las pérdidas puede limitar el intervalo de arranque. Dicho intervalo, junto con el intervalo de bloqueo permisible, están, por todo ello, limitados por la capacidad de calentamiento del rotor. Estos motores se denominan “de rotor crítico”. El incremento elevado de la temperatura puede dar lugar a tensiones mecánicas y provocar el desoldado de los elementos cilíndricos que componen el rotor.

Para los motores con tipo de protección “protección incrementada - EEx e”, el incremento de temperatura puede causar una ignición.

2.1.3 Envejecimiento del aislamiento

Si el límite de temperatura es conforme al del aislamiento, el periodo de vida del bobinado para todos los tipos de aislamiento se puede estimar en 100.000 h. Este valor corresponde, aproximadamente, a 12 años de operación continua a la potencia nominal. El envejecimiento del aislamiento es un proceso químico, el cual es altamente dependiente de la temperatura, como se muestra en la **Fig. 2.4.1**. Debido al calentamiento, parte del material aislante se evapora, lo que se traduce en un incremento de la porosidad y, como resultado final, una reducción de la resistencia a la tensión. Se puede aplicar la siguiente regla: si la temperatura de trabajo es superior a la máxima temperatura permisible en un valor de 10K el periodo de vida se reduce a la mitad. Las temperaturas excesivamente elevadas durante intervalos cortos no producen un impacto considerable en el periodo de vida del motor. La temperatura de trabajo continua, sin embargo, no ha de exceder el máximo valor permisible.

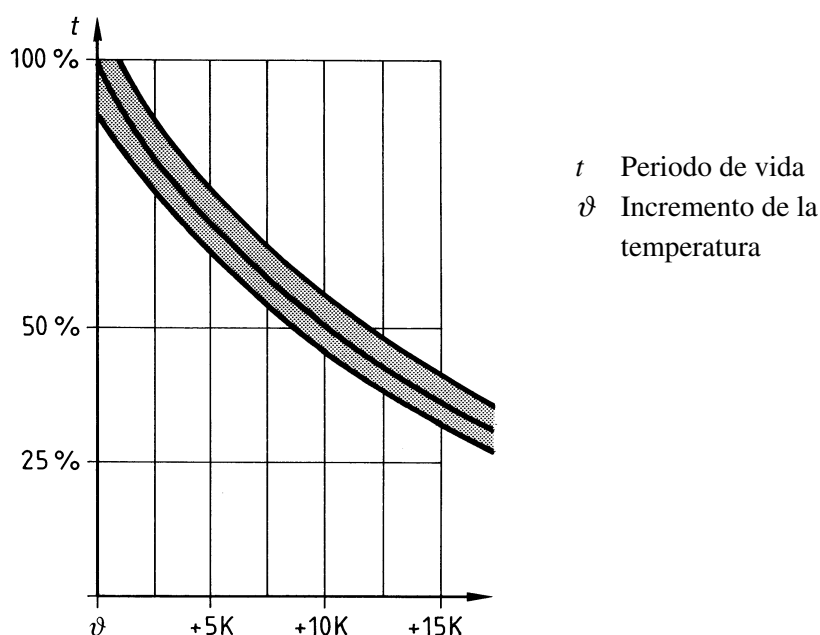


Figura 2.4.1 Reducción del periodo de vida media de un bobinado de motor debido a la temperatura excesivamente alta.

Los métodos de diseño actuales tienen en cuenta las situaciones de sobrecarga del motor. Esto hace posible que se pueda hacer pleno uso de la reserva del ciclo de vida. Esto se denomina diseño orientado al ciclo de vida, el cual tiene como objetivo el permitir el funcionamiento del motor tanto tiempo como sea necesario que éste funcione por motivos económicos.

2.1.4 Límites de respuesta

Para garantizar la protección de los motores estándar, la norma IEC ha establecido límites de respuesta para los relés de sobrecarga temporizados.

Los valores de acuerdo con IEC 947-4-1 son aplicables a relés de sobrecarga de carga equilibrada en los polos y compensación de temperatura ajustados a la corriente nominal de trabajo.

Figura 2.5.1 y Tabla 2.5.1.

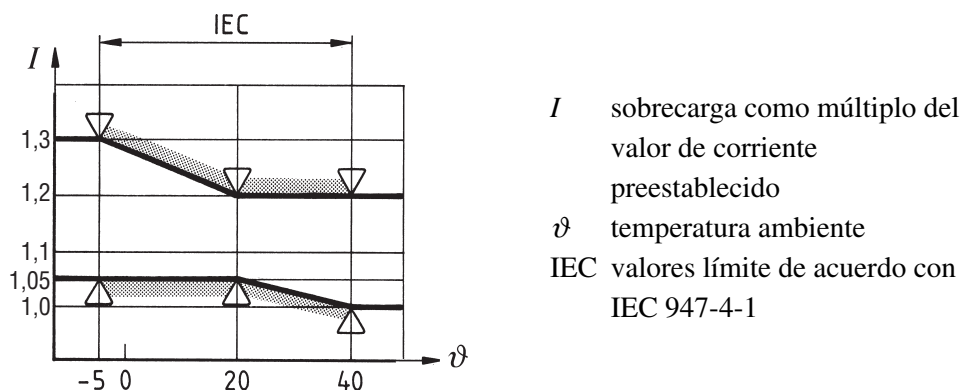


Figura 2.5.1 Valores de corriente múltiplos del límite para relés de sobrecarga compensados en temperatura según IEC 947-4-1.

Función	no responderá al siguiente en frío	para responder después de un incremento de corriente	para responder en caliente	para responder en frío
Múltiplo del valor de corriente preestablecido	1,05	1,2	1,5	7,2
Tiempo resp. 10 A	≥ 2 h	< 2 h	< 2 min	2...10 s
acceso a	≥ 2 h	< 2 h	< 4 min	4...10 s
respuesta	≥ 2 h	< 2 h	< 8 min	6...20 s
clase:	≥ 2 h	< 2 h	< 12 min	9...30 s

Tab. 2.5.1 Límites de respuesta a $+20^{\circ}\text{C}$ y carga equilibrada por polos para relés de sobrecarga térmicos con compensación de temperatura ambiente, de acuerdo con IEC 947-4-1.

Para una carga de dos polos en relés de sobrecarga térmica de tres polos (p.ej., por el fallo de una fase), se aplican los límites de respuesta listados en la **Tabla 2.6.1**.

Tipo de relé de sobrecarga	Múltiplo del valor de corriente ajustado		Temperatura ambiente del entorno
	resp. $t > 2$ h, basado en relé en situación de frío	respuesta $t \leq 2$ h	
temperatura ambiente compensada no sensible a fallo de fase	3 Polos 1,0	2 Polos 1,32 1 Polos 0	+ 20 °C
temperatura ambiente no compensada no sensible a fallo de fase	3 Polos 1,0	2 Polos 1,25 1 Polos 0	+ 40 °C
temperatura ambiente compensada sensible a fallo de fase	2 Polos 1,0 1 Polos 0,9	2 Polos 1,15 1 Polos 0	+ 20 °C

Tab. 2.6.1 Límites de respuesta para relés de sobrecarga térmica de tres polos con carga de dos polos sólo.

2.1.5 Fallo de fase

El fallo de una fase es la interrupción de un solo conductor. Entonces el motor sigue girando con solo dos fases y puede sufrir daños. La causa es, por ejemplo, un fusible que se funde. Los motores de tamaño pequeño y mediano son más críticos en el estator – esto significa que sólo puede sufrir daños el estator. Ha de diferenciarse entre:

- *Motores en conexión estrella:* estos motores no corren ningún riesgo debido a un fallo de fase. Como se muestra en la **Fig. 2.7.1**, las corrientes en los bobinados del motor, en el transcurso de la operación, con disturbios y sin ellos, en el momento de fallar un conductor, las corrientes se igualan en los otros dos. Debido al incremento de corriente, se produce una pérdida de potencia mayor en ambos bobinados activos. Globalmente, el motor trabaja frío porque el tercer bobinado frío produce compensación de la temperatura. En el caso de sobreintensidad, el protector que detecta corriente se dispara en el momento adecuado. Los motores de tamaño pequeño y mediano (críticos en el estator) que se encuentran en configuración estrella normalmente no están sometidos a ningún riesgo en el caso de fallo de una fase.
- *Motores en conexión triángulo:* En conexión triángulo, las corrientes de fase en el funcionamiento normal son inferiores en razón del factor $1/\sqrt{3}$ que las corrientes en los bobinados $I_{STR} = 0,58 I_N$.

Durante el fallo de una fase, La corriente se incrementa por motivos electromagnéticos en el 50%, aproximadamente, como se muestra en la Fig. 2.7.2. En el resto de los bobinados, que ahora están conmutados en serie, la corriente cae al 67%, aproximadamente. Este fenómeno se da porque el motor mantiene prácticamente constante la potencia transmitida al eje. El incremento absoluto de corriente en los bobinados, así como en las dos fases intactas, depende de la carga aplicada.

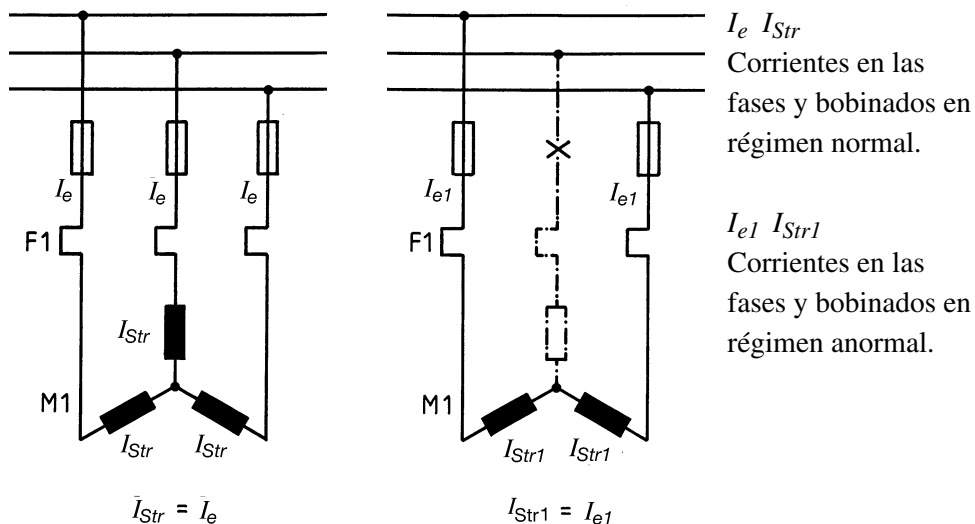


Fig. 2.7.1 Fallo de fase de un motor en conexión estrella. Flujo de corriente en operaciones normal y anormal.

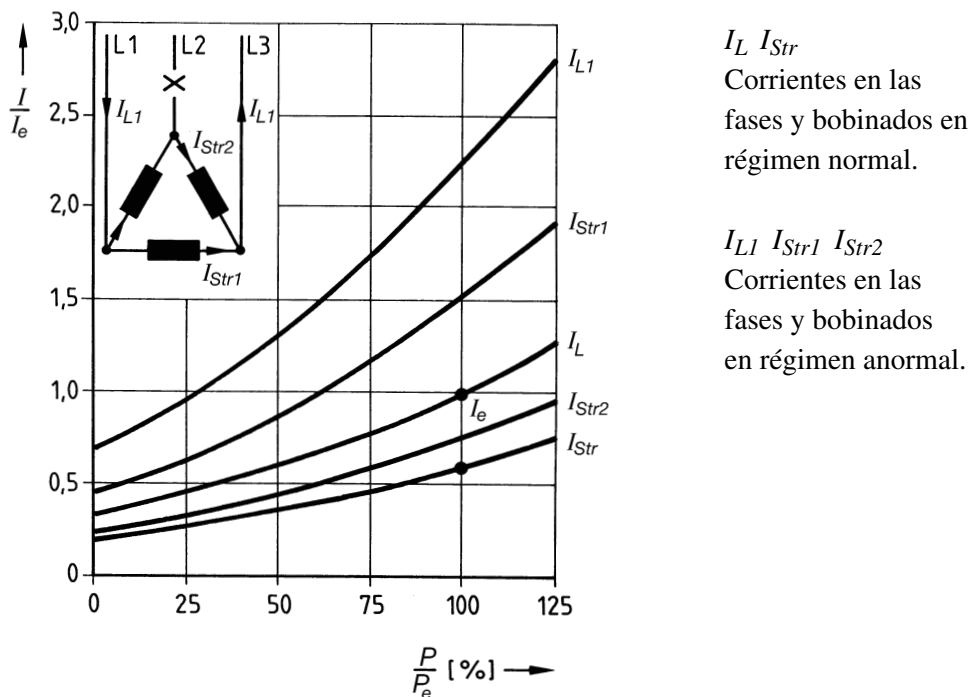


Fig. 2.7.2 Fallo de fase de un motor en conexión triángulo. Flujo de corriente en operaciones normal y anormal en función de la carga.

Debido a que las corrientes en los bobinados son distintas, éstos no se calientan por igual. Debido a que el calor se intercambia entre los bobinados individuales y entre éstos y el cuerpo de hierro, el calentamiento del estator es proporcional a la suma de todas las pérdidas en todos los bobinados. En general, es aplicable lo siguiente para motores con una salida de:

- $Pe \leq 10kW$: no necesitan ninguna protección especial contra el fallo de fases, en tanto en cuanto la corriente de disparo en dos fases sea $= 1,25 I_e$. En este caso, el calentamiento es, como mucho, igual al correspondiente a una carga trifásica simétrica.

- $Pe \geq 10 kW$: para estos motores se recomienda un protector electrónico de respuesta rápida con protección contra el fallo de fases. Además de la protección eléctrica, el corte rápido también contribuye a reducir las tensiones mecánicas de los cojinetes.

Varias compañías y disposiciones de compañías eléctricas sobre factorías requieren protecciones de motores sensibles a los fallos de fase, principalmente, para los dispositivos mayores, o bien para sistemas con requerimientos de seguridad incrementados.

En el caso de alimentación del estator por una sola fase, las pérdidas en el rotor son considerablemente más elevadas si se comparan con la alimentación simétrica. Esto puede representar un peligro adicional, especialmente, en motores de rotor crítico.

2.1.6 Asimetría en la red

La tensión entre fases, así como la tensión de ésta en la red de inducción, no es exactamente igual. Las causas pueden ser, por ejemplo:

- Líneas de alimentación de la red muy largas
- Contactos defectuosos en los interruptores automáticos de potencia y en los contactores
- Terminales de conexión flojos

IEC y NEMA definen la asimetría de la tensión así:

$$\Delta U (\%) = \frac{\text{Máxima desviación del valor medio de las tensiones de las fases} \times 100}{\text{valor medio de las tensiones de las fases}}$$

La asimetría en corriente de las intensidades de los bobinados resultante de las desviaciones de tensión alcanza valores del doble de 6...10 veces la asimetría de tensión y causan un calentamiento adicional y la correspondiente reducción del periodo de vida del motor. En la **Fig. 2.9.1** se muestran los factores de reducción en la salida de un motor de acuerdo con IEC y NEMA.

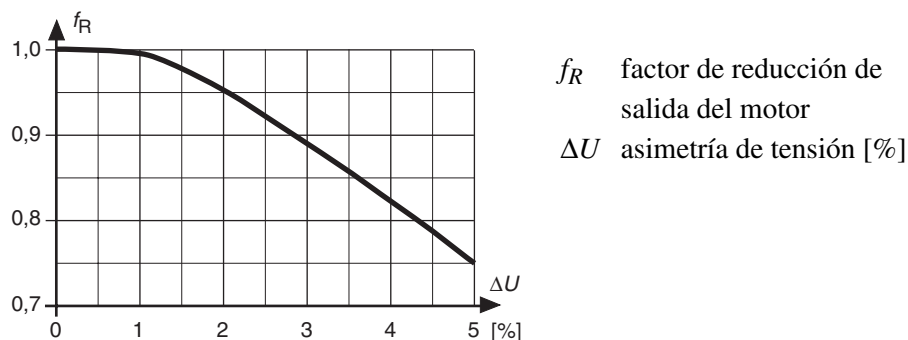


Fig. 2.9.1 Reducción de la potencia como resultado de una asimetría de tensión.

2.1.7 Defecto a tierra

Los defectos en el aislamiento normalmente se producen a causa de picos de alta tensión y, con frecuencia, ocasionan la producción de cortocircuitos contra las zonas de la máquina conectadas a tierra. Las fuentes de dichas descargas son los relámpagos, conmutaciones de la red, descargas de condensadores y el funcionamiento de sistemas de ingeniería de potencia.

2.1.8 Cortocircuito

Se establece una diferencia entre cortocircuitos entre fases aisladas a tierra y cortocircuitos entre dos o tres fases con y sin contacto a tierra. Las principales razones de dichos cortocircuitos se deben a los daños en el aislamiento y a daños mecánicos. Las corrientes dependen de la impedancia del circuito y pueden alcanzar valores elevados. Si la duración del cortocircuito se incrementa, los daños materiales se incrementan en la misma medida. Por ello, los cortocircuitos han de detectarse y desconectarse rápidamente.

3 Los requerimientos de protección del sistema

3.1 Bloqueos

El par de carga excesivo o ciertos daños mecánicos pueden provocar el bloqueo de un motor. Es recomendable desconectar de la red el dispositivo afectado tan pronto como sea posible. Al hacerlo, se evitan tensiones mecánicas y térmicas innecesarias a los elementos de transmisión y al motor. En general también se puede reducir el número de posibles accidentes.

3.2 Subcarga

Los peligros debidos a las subcargas y a las correspondientes bajas solicitaciones de corriente son posibles cuando los motores se refrigeran utilizando el mismo medio que bombean. Pueden darse problemas, por ejemplo, con ventiladores o con bombas sumergidas, debidos a una disminución o insuficiencia de volumen bombeado a causa de filtros obstruidos o de válvulas cerradas. Los dispositivos se pueden sobrecalentar a pesar de hallarse en régimen de subcarga. Tales máquinas se encuentran normalmente en lugares inaccesibles, tales como bombas en el interior de perforaciones, ocasionando reparaciones costosas cuando tienen lugar las averías. El hecho de que se dé una subcarga durante una corriente baja también puede apuntar a un fallo mecánico. Los ejemplos de este tipo son los acoplamientos defectuosos, rotura de ejes, cintas transportadoras rotas, aspas de ventilador rotas, etc. Tales condiciones de subcarga no suelen representar un peligro para el motor. Sin embargo, sí producen periodos de parada en la planta y pueden ocasionar daños al sistema. La rápida detección del fallo ayuda a reducir los tiempos de parada y los posibles accidentes.

3.3 Rotación incorrecta

La conmutación de un dispositivo que posea una rotación incorrecta puede dañar severamente un sistema y, con frecuencia, está ligada a una elevada probabilidad de accidentes. En los sistemas móviles, tales como máquinas de construcción, transportes de enfriamiento, etc., la rotación incorrecta suele ir precedida de anteriores reparaciones o de trabajos llevados a cabo en la red de distribución eléctrica. Se ha de evitar la conmutación de dichos dispositivos si su rotación no es la adecuada.

3.4 Motores en áreas con riesgo de explosión

3.4.1 Tipo de protección contra la ignición y seguridad incrementada EEx e

Bajo ciertas condiciones, las mezclas de algunos gases y vapores inflamables con el aire pueden entrar en combustión debido a chispas o a elevadas temperaturas. La temperatura de ignición depende de la composición química de la mezcla y de la proporción de dicha mezcla.

La combustión de una mezcla que puede explotar, se puede evitar, en el caso de los motores, si se asegura que la temperatura máxima del punto más cálido está por debajo de la temperatura crítica de ignición en dicho área. Desde luego, tampoco se ha de exceder la temperatura límite del aislamiento del bobinado.

3.4.2 Significación del tiempo t_E

El tiempo t_E es, según la **Figura 3.2.1**, el intervalo de tiempo que transcurre desde que el motor alcanza la temperatura nominal de trabajo hasta que llega al límite de temperatura permisible. Se calcula en el caso más desfavorable, p. ej. para un rotor bloqueado y la máxima temperatura ambiente permisible. Por lo tanto, un dispositivo de protección del motor ha de desconectar el motor durante la corriente de arranque I_A (el valor más elevado para un rotor bloqueado) dentro del intervalo de tiempo t_E . Esto significa que el motor no alcanzará la temperatura crítica.

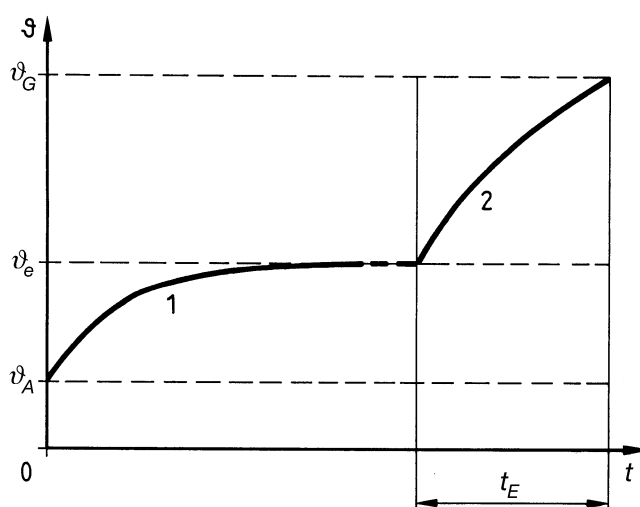


Figura 3.2.1 Definición del periodo de tiempo t_E , dentro el cual un motor con el rotor bloqueado eleva su temperatura desde el valor nominal de trabajo hasta su temperatura límite.

θ	Temperatura
θ_A	Máxima temperatura ambiente permitida por el motor
θ_e	Temperatura nominal de trabajo
θ_G	Temperatura límite
t	Tiempo
1	Incremento de Temperatura durante las condiciones nominales de trabajo
2	Incremento de Temperatura en un motor bloqueado

En los países donde estén en vigor los requerimientos de prueba general, la curva tiempo/corriente se incluye automáticamente. En dichos países sólo se podrán utilizar los dispositivos que hayan sido comprobados de esta manera para proteger los motores EEx e .

4 Medidas de protección

Para el control de temperatura de los motores se utilizan los dos métodos siguientes mutuamente complementarios:

- *Medición de la temperatura con detectores instalados en el bobinado del estator:* el detector mide la temperatura directamente del bobinado del motor, pero sólo en el lugar en que esté implantado. A esto se añade que la inercia térmica de éste frecuentemente excede los 10 seg., lo cual se debe tener en cuenta.

No se mide lo siguiente:

- sobrecarga del rotor
 - fallo de fase
 - asimetría
 - cortocircuito
 - defectos a tierra
-
- *Medición de corriente en la línea de suministro:* la medición de corriente en la línea de suministro es útil si el incremento de temperatura del motor es conocido en función de la corriente consumida por éste. Los dispositivos de protección pueden ajustarse de acuerdo con la corriente nominal de trabajo, así como para situaciones de sobrecarga breve.

5. Medidas de protección dependientes de la temperatura

5.1 Problemas de aplicación

5.1.1 Aplicaciones

Los detectores de temperatura se encuentran instalados en el codo del bobinado del estator. Por ello, miden directamente la temperatura crítica del motor. Los detectores de temperatura se utilizan, principalmente, en las condiciones de trabajo siguientes:

- Carga variable
- Régimen de parada - arranque
- Frenado por contracorriente
- Temperatura ambiental elevada
- Mala refrigeración, por ejemplo, en alrededores polvorientos
- Motores con control de velocidad.

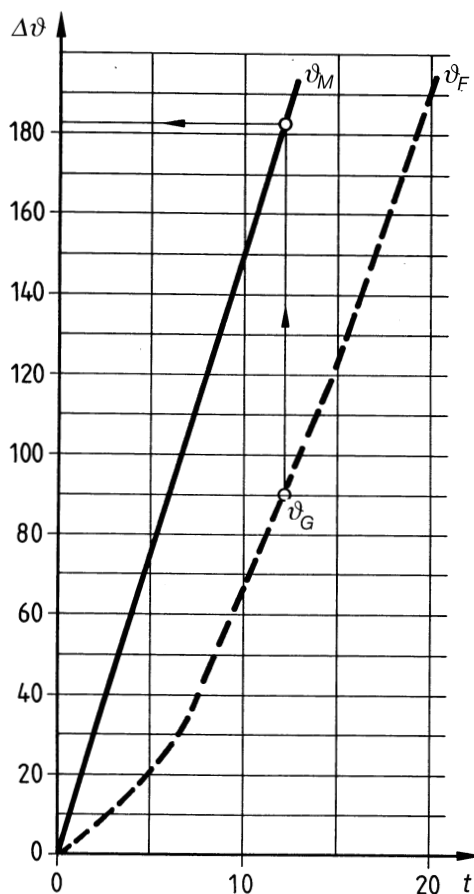
En varias aplicaciones el detector de temperatura por sí mismo proporciona una protección insuficiente o, incluso, nula. En estos casos, se utilizan protectores adicionales por medición de la corriente. Esto es necesario para:

- motores de rotor crítico
- protección en casos de
 - fallo a tierra
 - cortocircuito
 - motor bloqueado
 - Motores de baja inercia térmica
- reacción rápida en el caso de fallo de una fase y de asimetría.

5.1.2 Inercia térmica

Para los motores de baja inercia térmica, como es el caso de los motores de refrigeración encapsulada térmicamente, o bien para los dispositivos de bombas sumergidas, el retraso térmico entre el bobinado y el sensor puede llegar a ser crítico. El periodo de interacción, dependiendo del tipo de sensor y de su localización en el interior del bobinado, es inferior a 10seg.

Los cambios rápidos de temperatura representan un problema de protección. Durante el régimen continuo de trabajo, bobinado y sensor poseen prácticamente la misma temperatura durante el arranque, o bien durante grandes variaciones de la carga, como es el caso, por ejemplo, de un rotor bloqueado, en que la temperatura del bobinado se incrementa muy rápidamente. La temperatura del sensor está en línea con la constante de tiempo de interacción, que se muestra en la **Figura 5.2.1**.



Debido a la constante de tiempo de interacción del sensor, un bobinado con aislamiento de clase B ya ha alcanzado la temperatura de $\Delta\vartheta = 180$ K por encima de la temperatura del refrigerante de 40 °C cuando el sensor alcanza el límite de temperatura.

$\Delta\vartheta$ diferencia de temperatura cuando la temperatura del refrigerante está por encima de 40 °C

ϑ_M desarrollo de la temperatura del bobinado en un motor con incremento de temperatura de 15 K/s

ϑ_F desarrollo de la temperatura del sensor

ϑ_G temperatura límite para aislamiento de clase B

t tiempo en seg.

Fig. 5.2.1 Retraso térmico de un sensor PTC integrado en el bobinado del estator.

Por ejemplo, durante el bloqueo de un motor sumergido, la densidad de corriente en el bobinado del estator puede llegar hasta 50 A/mm². En este caso, la temperatura del bobinado se eleva rápidamente a 15 K/s aproximadamente. Cuando un sensor que posee una constante de interacción de 8s alcanza la temperatura límite permisible para el aislamiento de clase B, la temperatura del bobinado ya ha llegado a un valor superior a 180 K por encima de la temperatura del refrigerante, que es de 40° C. El motor puede hallarse en situación de riesgo.

5.2 Sensores bimetalicos en el bobinado

Los sensores bimetalicos consisten en dos metales con diferentes coeficientes de dilatación térmica enrollados uno encima del otro. Al calentarse el conjunto, éste se dilata de forma desigual, pudiendo disparar el contacto de un interruptor. Poseen la ventaja de que, en principio, la tensión de control se puede aplicar directamente al interruptor, lo cual hace innecesaria la utilización de un mecanismo especial de disparo. Sin embargo, su aplicación está restringida debido a los siguientes inconvenientes:

- Largo retraso térmico
- Precisión reducida. La temperatura de disparo puede verse afectada por un acoplamiento descuidado.
- Gran tamaño, si se compara con los actuales sensores.

5.3 Sensores PTC

El sensor más comúnmente utilizado en motores de baja tensión es el termistor o termistancia con coeficiente de temperatura positivo (PTC). Las resistencias PTC también se denominan termistores. Los sensores miniaturizados (**Figura 5.3.1**) poseen una baja resistencia por debajo de la temperatura nominal de respuesta, incrementándose ésta en el margen especificado de temperaturas de respuesta, según se ilustra en la **Figura 5.4.1**, en varios márgenes. Este cambio de resistencia se evalúa por medio de un dispositivo de disparo. La temperatura nominal de respuesta está definida por el sensor PTC y, por ello, es independiente del dispositivo de disparo.

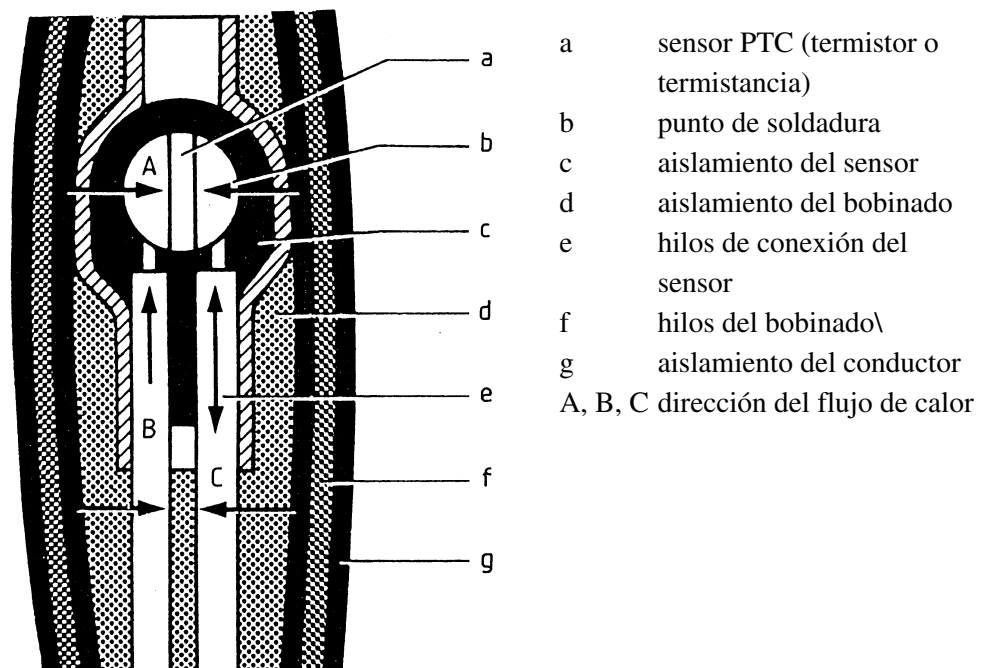


Fig. 5.3.1 Sección recta de un sensor PTC y del bobinado de un motor de baja tensión.

Los sensores se instalan en el interior del codo del bobinado del motor, en el punto de salida de aire, y la temperatura nominal de respuesta TNF es la idónea a la correspondiente clase de aislamiento. La respuesta del sensor se puede utilizar para desconectar el interruptor del motor, o para detección. Si es necesario emitir un aviso de advertencia antes de que se alcance la temperatura crítica, será necesario instalar otros sensores calibrados a una temperatura nominal de respuesta inferior.

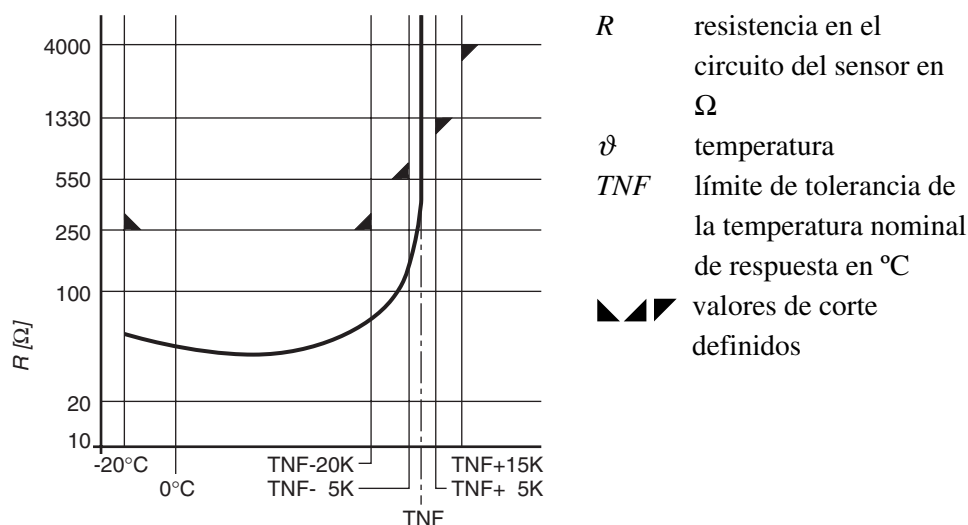


Fig. 5.4.1 Curva característica de resistencia-temperatura de un sensor PTC según IEC 34-11-2.

5.4 Sensores lineales de temperatura

Los sensores de platino Pt 100 se utilizan normalmente como sensores de temperatura lineales. El valor de su resistencia cambia en proporción a la temperatura. Como se puede ver en la **Figura 5.4.2**, a 0°C los sensores Pt 100 poseen una resistencia de $100\ \Omega$. Se utilizan predominantemente en motores grandes. Los motores de media tensión normalmente poseen sensores Pt 100 incorporados como característica estándar.

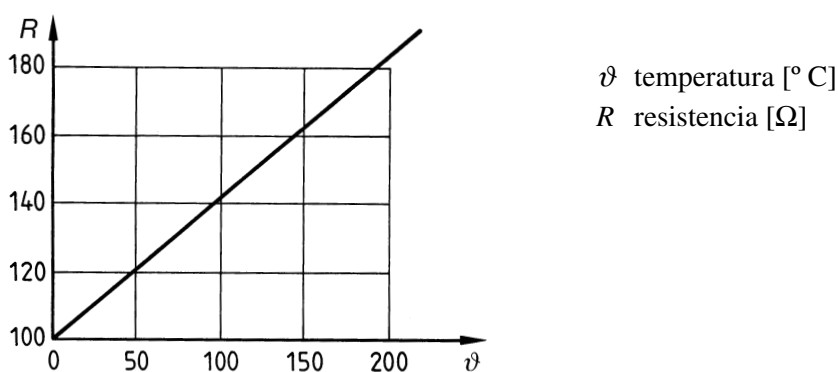


Figura 5.4.2 Curva característica de resistencia de un sensor Pt 100.

Al contrario que los sensores PTC, cuya temperatura nominal de respuesta viene determinada por el sensor, la temperatura de respuesta de los sensores Pt 100 puede ajustarse libremente en el dispositivo de disparo. Además de esto, se puede fijar cualquier valor de temperatura para el disparo del aviso de advertencia, reposición o control de carga. Los sensores Ni 100 -, Ni 120 - y Cu 10 - se utilizan raras veces.

6 Protección dependiente de la corriente

6.1 Función

El consumo de corriente del motor constituye una medida de la elevación de su temperatura. Como no se mide la temperatura del bobinado del estator o del cuerpo del rotor, esta conexión sólo se aplica en las siguientes condiciones marginales, sujetas a:

- la carga nominal del motor se refiere a la máxima temperatura del refrigerante de 40 ° C.
- Las sobrecargas temporales, por ejemplo, durante el arranque, han de ser toleradas, como se ilustra en la **Figura 6.1.1**.

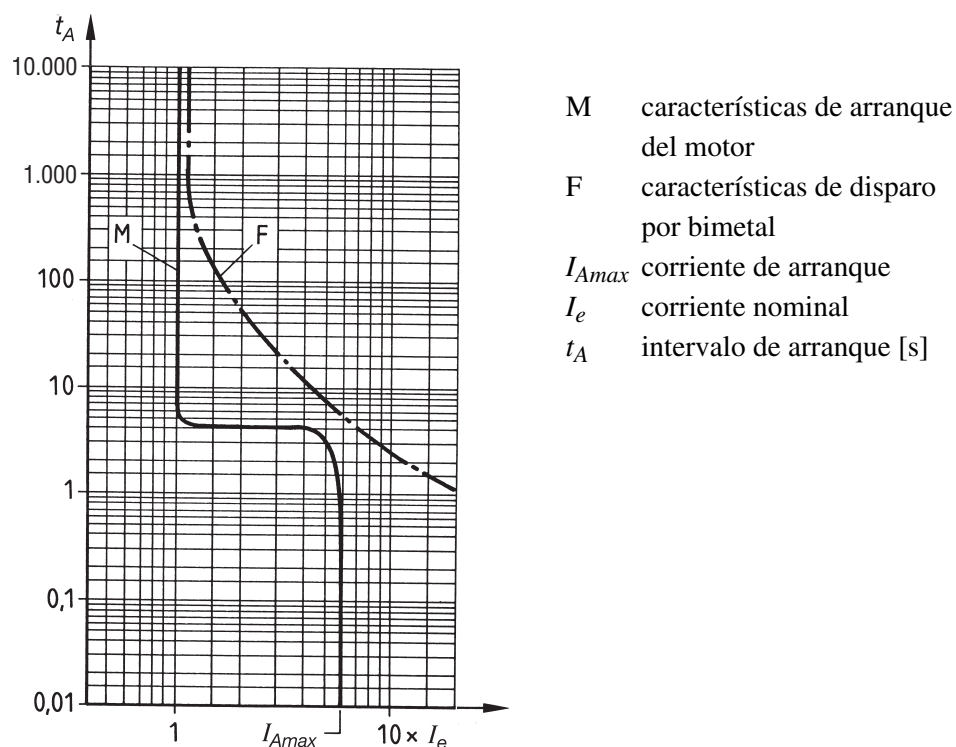


Fig. 6.1.1 Las sobrecargas del motor han de permitirle el arranque. La curva F, característica del dispositivo siempre ha de permanecer por encima de la curva M, característica del motor.

Para sistemas de protección que detectan corrientes no son aplicables los problemas y restricciones expuestos en los sensores de temperatura.

6.2 Características del dispositivo

6.2.1 Funcionamiento a régimen constante

Durante el funcionamiento en condiciones invariables, se puede prevenir el rebasamiento de la temperatura límite, como se muestra en la **Fig. 6.2.1**, por medio de un sencillo dispositivo de protección cuyas curvas de calentamiento correspondan a las características del motor. Como condición previa se estipula que el protector sea térmicamente igual de rápido o más rápido que el motor.

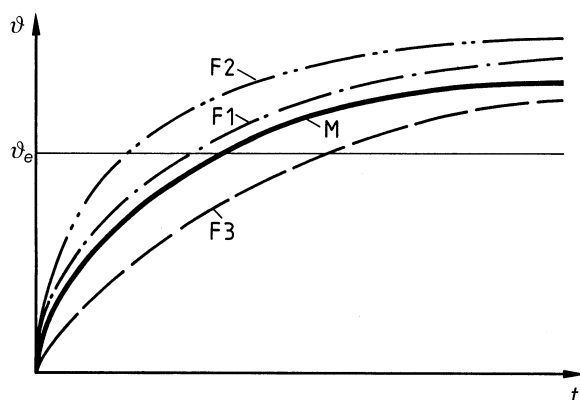


Fig. 6.2.1 Características de Incremento de Temperatura de un motor y de un protector térmico para una sobrecarga baja durante el funcionamiento continuo.

M	curva térmica del motor
F1, F2	dispositivos rápidos de protección del motor: el motor está protegido contra la sobrecarga
F3	dispositivo lento de protección del motor: el motor se puede llegar a calentar hasta un valor no permisible durante una sobrecarga
ϑ	temperatura
ϑ_{Ie}	temperatura durante el régimen de funcionamiento nominal
t	tiempo

- *Dispositivo de disparo más rápido que la curva de incremento de temperatura del motor:* el motor está protegido contra una sobrecarga. El dispositivo de protección se dispara mucho antes y evita la utilización plena del motor.
- *Dispositivo de disparo más lento que la curva de incremento de temperatura del motor:* El motor se puede calentar hasta un valor prohibido.

La curva de incremento de temperatura del motor se puede proyectar de forma precisa con la ayuda de los dispositivos de protección de motores de alta calidad (**capítulo 6.6**). Así el motor posee una protección segura, permitiendo su máxima utilización.

6.2.2 Funcionamiento intermitente

Durante una carga constante o un calentamiento y desconexión, las condiciones térmicas son relativamente sencillas. Durante condiciones cambiantes de funcionamiento, p. ej., en un ciclo periódico, es muy importante que el motor y el protector compartan la misma condición transitoria. La **Figura 6.3.1** muestra cómo divergen las diferentes curvas características. En el transcurso de un ciclo intermitente, la temperatura del bobinado, comparada con la del núcleo de hierro, cambia muy drásticamente. Para periodos de ciclo por debajo de 5...10 minutos, la última (núcleo) permanece prácticamente constante. Además de esto, las condiciones de refrigeración de los motores autoventilados durante el funcionamiento y las detenciones son considerablemente diferentes. La constante de tiempo de enfriamiento es entre 2 y 5 veces más larga que la constante de tiempo de calentamiento. Los dispositivos bimetálicos y los de tipo electrónico sencillo no tienen en cuenta este hecho.

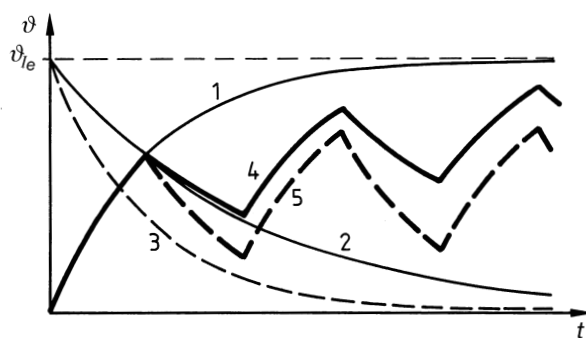


Figura 6.3.1 Características de Incremento y disminución de Temperatura del motor y del relé térmico durante cargas intermitentes.

- 1 características de incremento de temperatura del motor y del relé térmico
- 2 características de enfriamiento del motor
- 3 características de enfriamiento del relé térmico, sin tener en cuenta las diferentes condiciones de refrigeración habidas durante el funcionamiento y la parada
- 4 desarrollo de la temperatura del bobinado del motor
- 5 desarrollo de la temperatura del bobinado proyectada por el relé térmico

θ_{Le} temperatura durante el funcionamiento nominal

t tiempo

El comportamiento transitorio de los diferentes motores no es el mismo. No obstante, los dispositivos protectores han de proyectar el comportamiento de la temperatura del motor lo más exactamente posible. En la mayoría de los casos es necesaria una solución de compromiso, la cual se manifiesta como un motor ligeramente sobre protegido.

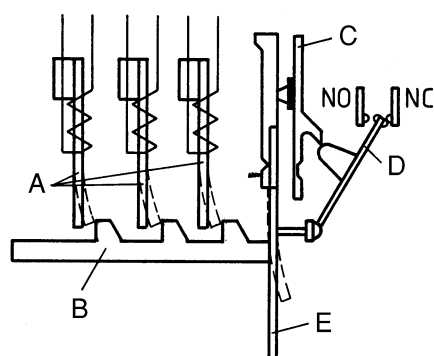
Los dispositivos electrónicos de protección mencionados en el **Capítulo 6.6** pueden permitir la plena utilización del motor también en los casos de funcionamiento intermitente.

6.3 Bimetálico – Principio de protección

6.3.1 Función

Los relés de sobrecarga con retraso térmico y los protectores de sobrecargas de la mayoría de los interruptores automáticos de potencia utilizan laminas bimetálicas, las cuales se calientan por efecto de la corriente del motor. Como puede verse en la **Figura 6.4.1**, los bimetales disparan un contacto auxiliar, vía una barra de disparo, que interrumpe el circuito de la bobina del contactor del motor. En los interruptores automáticos de potencia el disparo es directo. Podemos distinguir los siguientes tipos de calentamiento de acuerdo con la **Figura 6.4.2**:

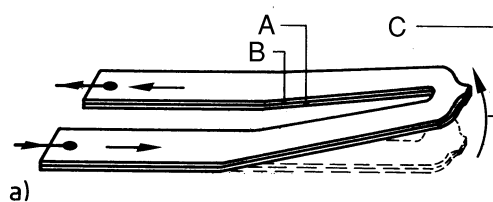
- *Calentamiento directo*: la corriente de calentamiento que es de 20...70 A, aproximadamente, fluye directamente por la lamina bimetálica. No se permiten corrientes inferiores, porque su capacidad de caldeo ($P_v = I^2 R$) es insuficiente para producir la deflexión.
- *Calentamiento indirecto*: la corriente de calentamiento no fluye directamente por la lamina bimetálica, sino a través de un bobinado calefactor alrededor de dicha lamina bimetálica. Es adecuado para corrientes comprendidas entre 0,1...20 A aproximadamente.



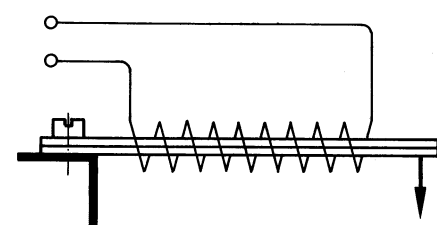
- A bimetales de caldeo indirecto
- B actuador de disparo
- C actuador de rearme
- D contacto móvil
- E bimetal de compensación

Fig. 6.4.1 Principio de funcionamiento de un relé de calentamiento de tres polos con retraso térmico con compensación de temperatura. La compensación de temperatura actúa en un margen de -5°C a $+40^{\circ}\text{C}$, de acuerdo con IEC.

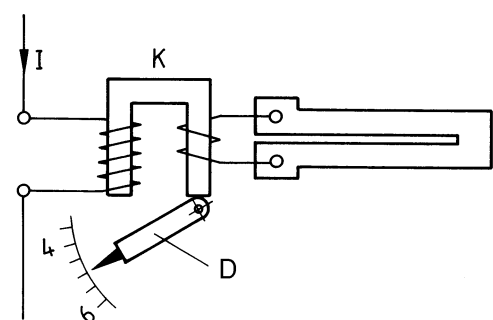
- *Calentamiento por transformador*: la corriente del motor ($> 60\text{ A}$) fluye a través del bobinado primario de un transformador. El bobinado de calefacción del bimetal se conecta al secundario de dicho transformador. En caso de cortocircuito, el relé bimetalico está totalmente protegido en la práctica.



a)



b)



c)

- A aleación de elevada dilatación
- B aleación de baja dilatación
- C deformación causada por el calentamiento
- D ánclora

Fig. 6.4.2 Propiedades de los bimetales calentados.

- a calentamiento directo
- b calentamiento indirecto
- c calentamiento por transformador (relé transductor)

Durante el arranque seguido de una carga constante, el relé térmico protege al motor sin problemas. Sin embargo, durante el funcionamiento intermitente con alta frecuencia de conmutación y carga variable, la protección del motor es insuficiente de por sí, debido a que el relé térmico sólo puede reproducir de forma aproximada el comportamiento térmico del motor. Durante el funcionamiento intermitente con arranques frecuentes, la constante de tiempo del bimetálico, que es considerablemente más reducida comparada con la del motor, provoca disparos prematuros. Esto significa que, durante el funcionamiento intermitente, la diferencia entre la temperatura del motor y la simulación del relé térmico se incrementa constantemente. **Fig. 6.3.1.**

Debido a razones térmicas, la resistencia de cortocircuito de los relés térmicos directamente calefactados es más elevada que la de los relés con caldeo indirecto. Durante las corrientes nominales elevadas, los relés térmicos se caldean por medio de transformadores de corriente. Proporcionan resistencia de cortocircuito hasta los valores de corriente más elevados. Los siguientes valores de resistencia de cortocircuito son aplicables para la corriente I_{eF} , ajustada en el relé térmico:

- ### 6.3.3 Funcionamiento con una sola fase

6.3.4 Fallo de fase

- *Salida nominal $P_e \leq 10 \text{ kW}$* : la corriente de arranque por fase del relé térmico debe ser de una magnitud $\leq 1,25 I_\phi$

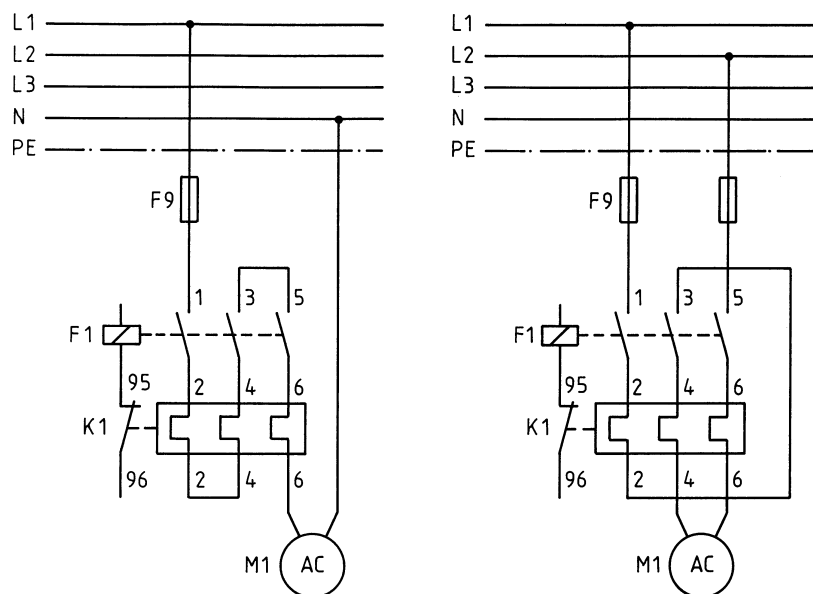
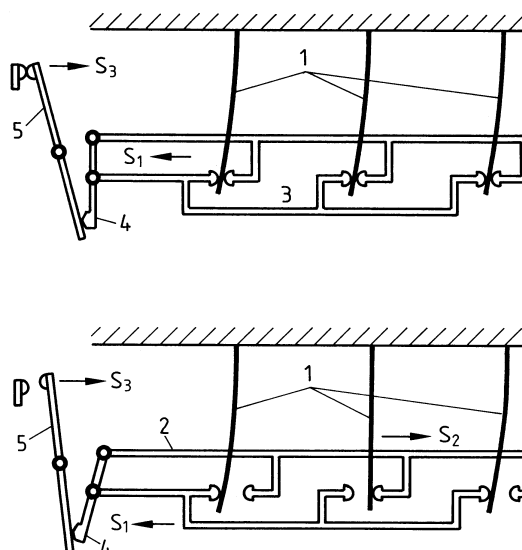


Fig. 6.6.1 Circuito serie de los bimetales de un relé térmico durante el funcionamiento con una sola fase.

- Salida nominal $P_e \geq 10 \text{ kW}$: los protectores del motor han de estar equipados con un disparador diferencial.

Las regulaciones de seguridad de diversas industrias requieren disparadores diferenciales, por ejemplo, las industrias química, petroquímica y del gas.



Disparo durante una sobrecarga trifásica

Disparo durante el fallo de una fase con el bimetálico no calefactado

Fig. 6.6.2 Principio de disparo diferencial para los relés térmicos.

- | | | | |
|---|---------------------------|-------|--|
| 1 | lamina bimetálica | 4 | leva diferencial |
| 2 | actuador de fallo de fase | 5 | contacto de disparo (accionado por muelle) |
| 3 | actuador de sobrecarga | S_1 | movimiento de disparo en caso de sobrecarga |
| | | S_2 | movimiento de disparo en caso de fallo de una fase |
| | | S_3 | apertura del contacto de disparo |

Como se muestra en la **Figura 6.6.2**, una disposición de dos accionamientos consistente en un actuador de fallo de fase y otro de sobrecarga conforma la base del disparo diferencial. Durante el fallo de una fase, el bimetálico “muerto”, que se enfría, empuja al actuador en sentido opuesto al del actuador de sobrecarga. Este movimiento recíproco se transforma en un movimiento adicional de disparo por medio de una leva diferencial.

Durante el fallo de una fase, la disposición de actuador doble provoca el disparo al 85% de la corriente de disparo con tres fases. Esto se refiere a la corriente que circula por el relé térmico. Cuando los motores se conmutan a triángulo y durante el fallo de una fase, las corrientes en el relé térmico y en el motor son diferentes. La distribución de corriente en el motor tampoco es constante, aunque sí depende de la carga.

La **Fig. 6.7.1** muestra la curva característica típica de disparo de un relé térmico con y sin disparo diferencial en condiciones fría y caliente.

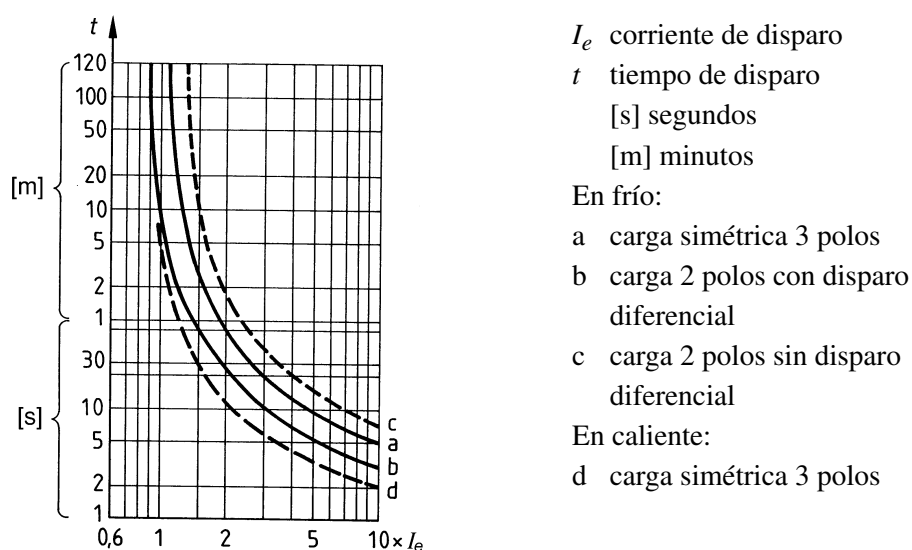


Fig. 6.7.1 Curva típica característica de disparo de un relé térmico.

6.3.5 Tiempo de recuperación

Después del disparo, los relés térmicos necesitan un periodo determinado de tiempo para que las tiras bimetálicas se enfríen de nuevo. Este periodo de tiempo se denomina tiempo de recuperación o de rearme. Sólo se podrá rearmar el relé cuando haya pasado dicho tiempo.

El tiempo de recuperación depende de la curva de disparo del relé térmico y de la magnitud de la corriente causante del disparo. En la **Figura 6.8.1** se muestran los valores medios del tiempo de recuperación de los relés térmicos. Puede verse que, a continuación de un disparo debido a una corriente 4 veces la de ajuste, el intervalo de recuperación es de 35 segundos aproximadamente.

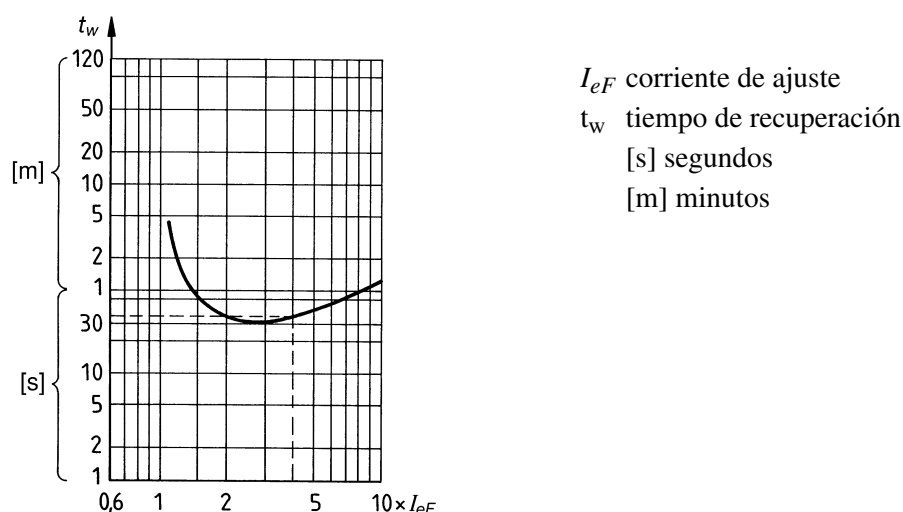


Fig. 6.8.1 Valores guía para el tiempo de recuperación de los relés térmicos.

El tiempo de recuperación también sirve como intervalo que permite el enfriamiento del motor durante esta pausa operacional. Sin embargo, este periodo de tiempo es insuficiente en la mayoría de los casos para permitir un re arranque.

6.3.6 Ajuste de la corriente

En general, el relé térmico ha de ajustarse a la corriente nominal I_e . Los diales indicadores de la mayoría de los protectores poseen un margen de corriente para arranque directo y otro para arranque estrella - triángulo. Este último posee un factor de $1/\sqrt{3}$ incorporado internamente.

Si la temperatura del refrigerante excede los 40 °C, la potencia del motor ha de reducirse y el ajuste de corriente ha de adaptarse al relé térmico. Si el fabricante del motor no indica otra cosa, se aplica la **Tabla 6.8.1**.

Temperatura del refrigerante °C	30	35	40	45	50	55	60
Factor de corrección I_e	1,08	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8

Tab. 6.8.1 Valores guía para los factores de corrección de ajuste de la corriente en relés térmicos para motores con desviación de la temperatura del refrigerante.

Para las instalaciones cuya altitud sea superior a 1000 metros sobre el nivel del mar, las cargas permisibles del motor decrecen y, por tanto, lo mismo sucede con los ajustes del relé térmico. Si el fabricante del motor no indica otra cosa, se aplica la **Tabla 6.9.1**. Si se dieran desviaciones de la temperatura del refrigerante al mismo tiempo que la instalación a grandes alturas, se ha de considerar el producto de ambos factores a la hora de ajustar la corriente en el relé térmico.

Altitud de la instalación metros sobre el nivel del mar	Factor de corrección de salida nominal
≤ 1.000	1,00
≥ 1.500	0,97
2.000	0,94
2.500	0,90
3.000	0,86
3.500	0,82

Tab. 6.9.1 Valores guía para la corrección de la salida nominal con desviación en altitud de la instalación.

6.3.7 Mecanismo de Disparo Libre

El “Disparo Libre” se requiere por parte de IEC y de diversas regulaciones nacionales. El disparo también se llevará a cabo si se pulsa el botón de rearme o bien el “0” al mismo tiempo. El mecanismo de disparo se rearma pulsando la tecla de rearme una vez más.

En muchos relés térmicos, el mecanismo de disparo también funciona como rearme automático con la tecla de rearme bloqueada. Sólo es posible conectar de nuevo después de haber pulsado otra vez la tecla rearme.

6.4 Protección del motor durante el arranque con carga elevada

La corriente de arranque de un motor I_A $4...8 I_e$ no depende de la carga, sino del diseño del motor. Sin embargo, el periodo de aceleración t_A , sí depende de la carga. De acuerdo con la Fig. 6.9.1, el término de arranque con carga elevada se utiliza si el periodo de aceleración depende de la corriente de arranque y es de algunos segundos. En estas condiciones, un relé térmico normal ha de soportar demasiadas tensiones térmicas y se dispara en la mayoría de los casos.

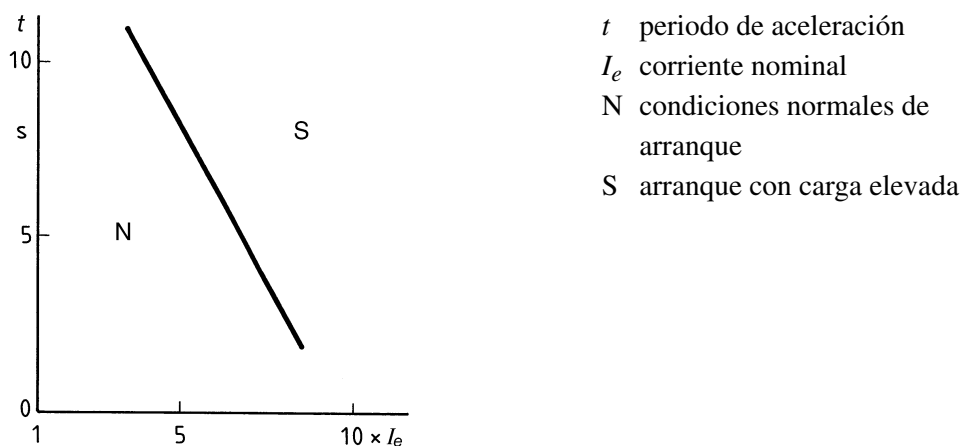


Fig. 6.9.1 Durante el arranque con carga elevada el periodo de aceleración es función de la corriente de arranque y su duración es de algunos segundos.

En estos casos, los elementos electrónicos de sobrecarga se pueden adaptar exactamente al arranque del motor con carga elevada (**Capítulo 6.6**). Así, en los circuitos temporales con relés térmicos, como los transductores de saturación, el puentado protector del relé durante el arranque y los relés térmicos separados para la fase de arranque, ya no son necesarios.

6.5 Protección de motores en recintos con riesgo de explosión

Los relés térmicos para la protección de motores EEx e han de cumplir las normas y regulaciones enumeradas en el **Capítulo 3.4**. Los relés térmicos por sí mismos no están protegidos contra explosiones y, por lo tanto, no se deben instalar en áreas peligrosas.

En los países donde estén en vigor los requerimientos de prueba general, los protectores de motores

EEx e se pueden utilizar si el tiempo t_E del motor corresponde a los valores mínimos o es más largo. Si éste no es el caso el tiempo t_E del motor ha de compararse con los valores de las curvas características de disparo en frío. La protección está garantizada si los valores corresponden, al menos, con la curva o, incluso, la sobrepasan.

Además, en el caso de motores en conexión triángulo, ha de comprobarse si el intervalo de disparo en el caso de disparo por dos polos corresponde a 0,87 veces $I_A/I_e \leq t_E$.

Los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas (**Capítulo 6.6**) permiten ajustar exactamente el tiempo t_E . Esto significa que durante un arranque con carga elevada, el tiempo t_E permisible se puede emplear plenamente.

6.6 Protección electrónica de motores

Los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas proporcionan la posibilidad de proyectar las condiciones térmicas del interior del motor para cada tipo de operación de forma mucho más precisa que, por ejemplo, con relés térmicos basados en bimetales. Al mismo tiempo, la información recientemente adquirida ayuda a extender el margen de aplicación del protector.

Las principales propiedades de los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas son:

- Ajuste preciso de la corriente
- Protección mejorada para las diferentes condiciones de arranque y trabajo
- Funciones extendidas de protección, comprobación, monitorización y control.

6.6.1 Protección contra sobrecargas

6.6.1.1 Modelos de simulación térmica

Con respecto a la precisión, en principio no es importante si los dispositivos están implementados sobre una base analógica o digital. Estos dispositivos, que están equipados con microprocesadores, también son parcialmente adecuados para comunicarse con sistemas de control de orden superior y son capaces, por ejemplo, de conectarse a sistemas de bus. Dependiendo de los requerimientos, los dispositivos se utilizan en la práctica de acuerdo con los siguientes modelos:

- *Modelo de un solo cuerpo:* sencillos elementos electrónicos de protección contra sobrecargas que simulan el calentamiento del motor únicamente en base a un modelo de un solo cuerpo. Sus curvas características de calentamiento y enfriamiento se pueden comparar con las condiciones de los relés térmicos. Sólo consideran la capacidad de calentamiento de los bobinados del estator y, por tanto, se enfrían demasiado rápidamente durante la parada del motor, puesto que el núcleo de hierro no se tiene en consideración. Por todo ello, el motor ha de protegerse por medio de sensores térmicos adicionales durante los cambios de carga y durante el funcionamiento intermitente.
- *Modelo de dos cuerpos:* complejos elementos electrónicos de protección contra sobrecargas que simulan el calentamiento del motor en base a un modelo de dos cuerpos. Su simulación se basa en la consideración del calentamiento de los bobinados del estator y de la masa de hierro del motor. Esto ayuda, por ejemplo, a proyectar de forma precisa el calentamiento rápido del bobinado durante un arranque con carga elevada, así como también a la posterior transmisión de calor del bobinado del motor al hierro, el cual se calienta considerablemente más despacio. Durante el funcionamiento, también se introducen en el modelo simulado las pérdidas en el hierro, así como las pérdidas debidas a la asimetría. La consideración de la temperatura ambiente del motor incrementa la utilización máxima del sistema, incluso, durante grandes fluctuaciones de temperatura. Las diferentes condiciones de enfriamiento de un motor autoventilado durante el funcionamiento y la parada también se tienen en consideración por medio de dos constantes de tiempo diferentes. Asimismo, también se proyecta el rápido enfriamiento del bobinado después de la desconexión, hasta la temperatura del hierro y el posterior enfriamiento lento del motor en conjunto.

Esto significa que la proyección térmica del protector electrónico del motor se corresponde con la situación del mismo en todo momento. Esto permite la máxima utilización del sistema y garantiza la protección del motor segura, incluso, durante condiciones de arranque y funcionamiento difíciles.

La simulación de dos cuerpos puede explicarse utilizando la red de capacidad - resistencia, según se muestra en la **Fig. 6.12.1**

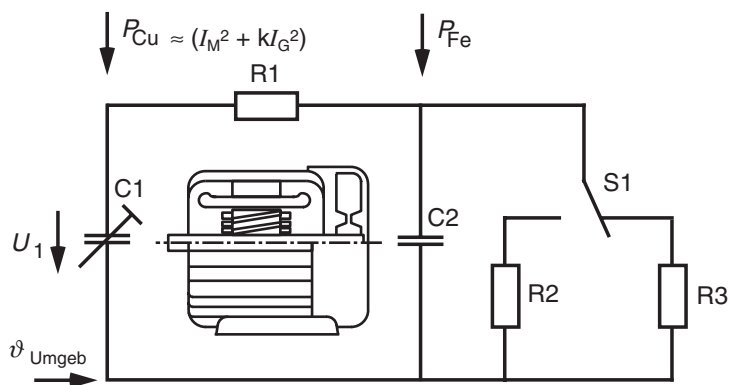


Fig. 6.12.1 Proyección de 2 cuerpos para simular el calentamiento del motor.

C1	capacidad de acuerdo con la capacidad térmica del bobinado (ajustable)
C2	capacidad de acuerdo con la capacidad térmica del hierro y otras masas de la máquina
R1	resistencia de acuerdo con la resistencia a la transmisión de calor entre el bobinado y el hierro
R2	resistencia de acuerdo con las pérdidas de calor al ambiente durante una parada
R3	resistencia de acuerdo con las pérdidas de calor al ambiente durante el funcionamiento
P_{Cu}	alimentación de corriente en proporción a las pérdidas en el cobre
P_{Fe}	alimentación de corriente en proporción a las pérdidas en el hierro
S1	transición parada/arranque
I_M	corriente del motor
I_G	contra - componente causado por la asimetría
ϑ_{Umgeb}	consideración de la temperatura ambiente-/medio refrigerante con sensor Pt 100.

6.6.1.2 Ajuste de corriente

Observando la temperatura permisible para el funcionamiento continuo del motor nos cercioramos de que el periodo de vida del aislamiento está asegurado. Por esta razón, es muy importante el ajuste adecuado de la corriente. Si la corriente se ajusta a un valor muy elevado, en lo sucesivo no se podrá garantizar la protección de la máquina. El ajuste ha de reflejar los posibles factores que introducen desviaciones de las condiciones normales, como la temperatura del refrigerante muy alta, según se muestra en la **Tabla 6.8.1**, o bien, la instalación del motor en lugares por encima de 1000 metros del nivel del mar. Vea la **Tabla 6.9.1**.

Con los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas, la corriente nominal se introduce directamente y de forma digital en Amperios.

Si existen transformadores de corriente primaria preconectados también se deberá tener en cuenta su relación de transformación.

El sistema en funcionamiento también está protegido si la menor corriente de trabajo requerida se introduce en el protector del motor, en vez del valor de corriente nominal. Una carga mayor, por ejemplo, la debida a fallos mecánicos, será detectada y se podrá detener el sistema mientras los daños sean pequeños.

6.6.1.3 Ajuste del tiempo de disparo

Al introducir el tiempo de disparo, las características de disparo del elemento electrónico de protección contra sobrecargas se adaptan a la capacidad térmica del motor. La introducción óptima del tiempo de disparo es posible si se conocen el bloqueo permisible del rotor en frío y su correspondiente corriente de bloqueo. Vea la **Fig. 6.13.1** Ambos valores pueden estar definidos por parte del fabricante del motor.

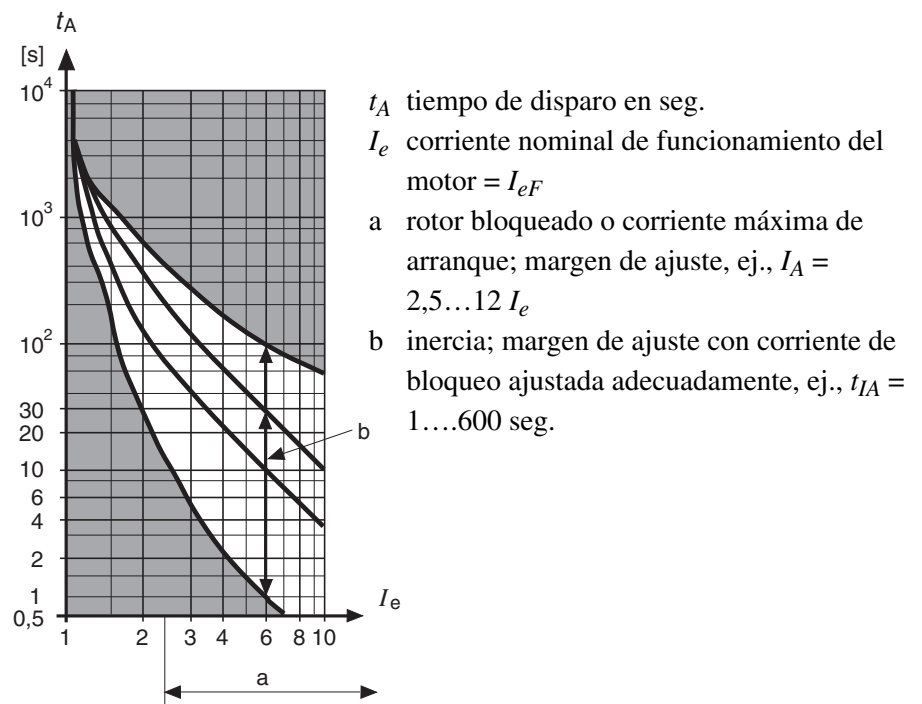


Fig. 6.13.1 Curva Tiempo-/Corriente de un elemento electrónico de protección contra sobrecargas (condiciones en frío).

En la mayoría de los casos el tiempo de bloqueo permisible es desconocido, pero si el motor ha sido adecuadamente dimensionado para la aplicación particular, se recomiendan los siguientes periodos de disparo:

- *Motores normales*: el ajuste normal es de 10 seg
- *Motores especiales, como los dispositivos térmicamente rápidos*: se comienza con un ajuste inicial de prueba de 2 seg. Si se dispara la sobrecarga del motor, permitiendo que se enfríe, entonces se comienza de nuevo con 4 seg y se incrementa el intervalo de disparo hasta lograr un arranque satisfactorio.

6.6.2 Funciones especiales de protección de motores

6.6.2.1 Fallo de fase

Los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas pueden reconocer el fallo de una fase, independientemente de la carga, y pueden reaccionar inmediatamente.

Se utilizan diversas soluciones:

- *Disparo diferencial*: la curva de disparo se desplaza, de forma similar al relé térmico, por medio de un disparo electrónico diferencial. Si el motor no está a plena carga, puede seguir funcionando.
- *Corte rápido*: previene posteriores calentamientos innecesarios del motor y protege el motor y los cojinetes del sistema. El disparo se retrasa frecuentemente durante un corto periodo de tiempo para prevenir un corte innecesario en la red de suministro durante las interrupciones monofásicas de corta duración.

6.6.2.2 Asimetría

Las tensiones de fase asimétricas están originadas, principalmente, por líneas de suministro largas. La corriente asimétrica resultante en los bobinados del motor llega a ser, dependiendo del diseño del motor, de 6 a 10 veces la asimetría de tensión.

Los motores de tamaño intermedio y grande de baja tensión se sitúan en riesgo térmico rápidamente (motores de rotor crítico). Por esta razón, la carga ha de reducirse, como se muestra en la **Fig. 2.9.1**, para evitar el sobrecalentamiento del motor. Algunos dispositivos electrónicos de protección de motores detectan la asimetría y corrigen a la baja el límite de disparo. Sin embargo, en la práctica no siempre es posible reducir la carga del motor. No obstante, la sobrecarga puede emitir una señal de advertencia.

Con alimentación asimétrica, no sólo es un motor el afectado, sino el sistema entero. Es por esto recomendable controlar de forma centralizada la tensión de la red. En sistemas con una red “mala” con tensiones de la red normalmente asimétricas, los motores han de dimensionarse de acuerdo con ello para prevenir un efecto negativo en su periodo de vida.

Las asimetrías elevadas o el fallo de una fase pueden ser producidas por contactos defectuosos en los interruptores automáticos de potencia, los contactores, terminales, fusibles, así como también fallos internos del motor. La rápida detección y corte previene los daños por sobrecalentamiento en estos dispositivos. Se protege así al sistema y a los cojinetes del motor.

Definición de asimetría de tensión de acuerdo con NEMA e IEC:

$$\Delta U (\%) = \frac{\text{Máxima desviación de la tensión media en fases} \times 100}{\text{media de tensión en fases}}$$

6.6.2.3 Derivaciones a tierra

Los daños en el aislamiento de los motores frecuentemente se producen por los picos transitorios de alta tensión. Las causas son los relámpagos, conmutaciones de red, descargas de condensadores y dispositivos electrónicos de potencia. También pueden causar derivaciones el envejecimiento, las sobrecargas continuas o cíclicas, así como también las vibraciones mecánicas y los cuerpos extraños. La mayoría de los daños en el aislamiento ocasionan derivaciones hacia las partes de la máquina conectadas a tierra. En redes conectadas a tierra las corrientes hacia ella pueden alcanzar valores elevados. Dependiendo del tipo de red y de los requerimientos, las corrientes a tierra han de controlarse, bien utilizando el método “Holmgreen”, o bien por medio de un transformador sumador de corriente.

Derivaciones a tierra utilizando el método “Holmgreen” (para redes críticas con tierra)

Para detectar corrientes de derivación en redes críticas con tierra o con conexiones a tierra de baja resistencia, se miden las corrientes en los conductores de las tres fases. En un motor perfecto la suma de dichas corrientes ha de ser cero. Pero si hay circulación de corriente hacia la carcasa del motor y de ahí a tierra, aparece una corriente I_0 en el punto central de la estrella del transformador, la cual es proporcional a la corriente derivada a tierra. Ésta es percibida por el detector de derivaciones y provoca el disparo. Hay un retraso corto que evita disparos erróneos debidos a la saturación transitoria del transformador, la cual puede aparecer en las operaciones de conmutación. Es necesario escoger una sensibilidad, de forma que, ni los errores de saturación del transformador ni las señales de interferencia en la conexión estrella - triángulo producidas por los terceros armónicos superiores, provoquen el disparo. **Fig. 6.15.1**

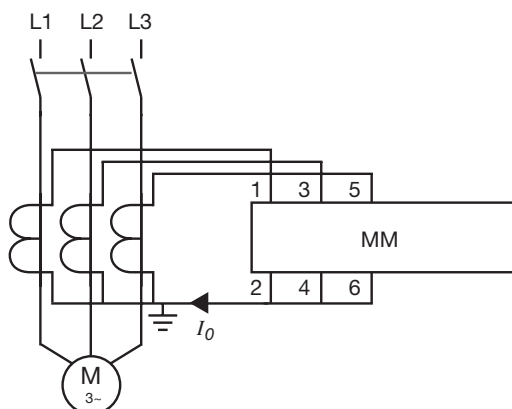


Fig. 6.15.1 Protección contra derivaciones a tierra utilizando el método “Holmgreen”.

T1 transformador principal de corriente

MM protector del motor

I_0 corriente residual (proporcional a la corriente derivada a tierra)

Derivaciones a tierra utilizando transformadores sumadores de corriente

En redes aisladas, compensadas o conectadas a tierra en alta impedancia, la elevada sensibilidad requerida se obtiene por medio de un transformador sumador de corriente, cuyo núcleo rodea los tres conductores que alimentan al motor. De acuerdo con el principio de conmutación del protector de corrientes derivadas, es posible la protección contra derivaciones a tierra. Si el umbral de respuesta es bajo, es suficiente un pequeño defecto de aislamiento para disparar un aviso de precaución o para la desconexión. **Fig. 6.16.1.**

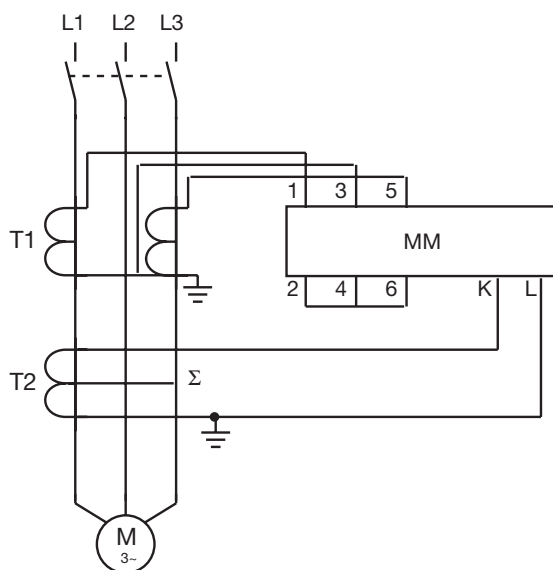


Fig. 6.16.1 Protección contra derivaciones a tierra utilizando un transformador acumulador de corriente.

T1 transformador principal de corriente (detección de corriente en 2 fases)

T2 transformador acumulador de corriente

MM protector de sobrecargas del motor

Aplicaciones

- motores de media tensión
- sistemas en entornos problemáticos, por ejemplo, humedad, polvo, etc., en minas, canteras, fábricas de cemento, molinos, procesadoras de madera, plantas de bombeo, plantas depuradoras, drenajes

Protección contra pérdidas en redes de media tensión

La sección siguiente pretende proporcionar una visión global de las condiciones para defectos a tierra en redes aisladas, con conexión a tierra de alta impedancia o compensada. Esta descripción no es exhaustiva en ningún caso y no considera los efectos transitorios.

Para redes que posean los tipos de conexión a tierra del punto central estrella antes mencionadas, la magnitud de la corriente derivada a tierra está determinada por la capacidad de conexión a tierra de las redes y por la resistencia de la conexión o el inductor compensado. Lo normal en las redes industriales relativamente pequeñas es que las corrientes derivadas a tierra sean muy pequeñas. La capacidad de la conexión a tierra viene determinada, principalmente, por los cables y motores.

Los valores de capacidad de los cables se pueden encontrar en las tablas al efecto, y se encuentran en un margen comprendido entre 0,2 y 1,2 μF por kilómetro lineal. Para los motores de media tensión se puede esperar un valor aproximado comprendido entre 0,02 y 0,05 μF por Megawatio de potencia del motor.

Es también una regla general posterior para las redes industriales de media tensión que por cada 1000...1500 KVA de potencia del sistema se puede esperar 1 Amperio de corriente capacitiva a tierra. La monitorización de la red entera, se lleva a cabo midiendo la tensión de fugas.

Los detectores de derivaciones en las ramas de los motores ayudan a localizar los defectos a tierra. En muchos casos, la operación puede continuar, puesto que las derivaciones a tierra que se producen son relativamente pequeñas y el aislamiento de las fases en buen estado puede trabajar a tensiones más elevadas en un corto periodo de tiempo.

Redes aisladas o con conexión a tierra de alta impedancia

Para capacidades de tierra simétricas el punto estrella de la red sin disturbios se asume que el potencial de tierra y la suma total de las corrientes que circulan por la capacitancia de tierra, es cero. Asimismo la resistencia de tierra de alta impedancia, (**Fig. 6.19.2/6.20.1/6.20.3**) es fría para los transformadores con puntos estrella durante el régimen normal de trabajo. Ello previene sobretensiones extremadas durante defectos a tierra intermitentes, que pueden darse en redes aisladas. El valor es normalmente tal que la resistencia durante una derivación a tierra transporte una corriente que sea, aproximadamente, de igual magnitud que la corriente de carga capacitiva de las redes.

Si, por ejemplo, el polo conductor de la **Fig. 6.19.1** y de la **Fig. 6.19.3** posee un enlace a tierra a continuación de una derivación, los otros dos polos conductores llevan una tensión entre líneas con respecto a tierra. A través de sus capacidades de tierra C_N (en el lado de la red, como son vistas por el protector MM) y C_M (en el lado del motor), circula una corriente capacitiva hacia tierra y vía el área defectuosa de retorno al polo conductor 3. Para conexiones a tierra de alta impedancia, **Figs. 6.19.2/6.20.1/6.20.3**, la tensión del punto alto de la estrella conduce una corriente adicional a través del área defectuosa, la cual está limitada por la resistencia de la conexión a tierra.

En el caso de un defecto a tierra en el punto de medición del lado de la red (el punto de instalación de los transformadores de corriente), el protector de corriente MM mide la porción de corriente derivada a tierra que circula a través de C_M . Se debe seleccionar una sensibilidad de respuesta, la cual evita que el MM se dispare en este caso. Por otra parte, el MM ha de ser lo más preciso posible, ha de detectar los defectos a tierra que sucedan, puesto que para las derivaciones a tierra en los bobinados del motor la tensión transicional decrece cuanto más cerca se encuentre el punto de derivación del punto central de la estrella. La corriente de fuga decrece proporcionalmente. Habitualmente no se selecciona un umbral de respuesta inferior al 5... 10% de la corriente para un defecto a tierra saturado en los terminales del motor.

Redes compensadas

Redes con supresión, resonancia de tierra, bobina de compensación.

Las **Figuras 6.19.2/6.20.1/6.20.3** también muestran las condiciones principales para redes industriales compensadas, aunque éstas son relativamente escasas. Durante una compensación total, la bobina compensadora proporciona una corriente de la misma magnitud que la corriente de fuga capacitiva, pero invertida en fase, de modo que la zona defectuosa es atravesada sólo por una corriente de fuga óhmica muy baja.

Representación esquemática de los diferentes tipos de redes y posiciones de conexión a tierra

La corriente a tierra medida por el protector electrónico de motores MM por medio de un transformador sumador de corriente depende del tipo de red y de la posición de la toma de tierra. En los diagramas siguientes se muestran las condiciones para las diferentes aplicaciones.

Leyenda del diagrama siguiente:

K1	contactor
MM	protector del motor
M1	motor
C_N	capacidad a tierra de los polos conductores - lado de la red
C_M	capacidad a tierra del motor, incluyendo los cables entre el transformador de corriente y el motor
L	bobina de compensación
R	resistencia de toma de tierra de alta impedancia
T	transformador
I_E	corriente de fuga a tierra

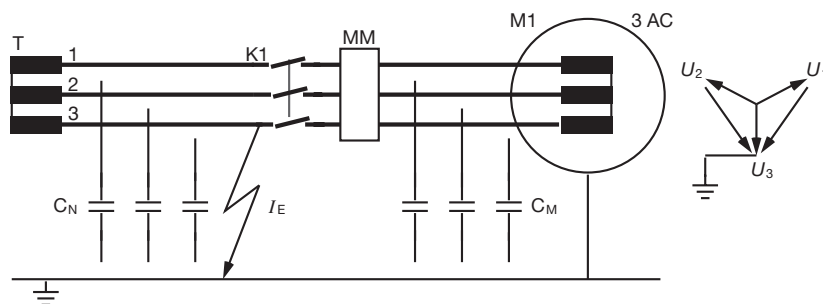


Fig. 6.19.1 Red aislada:

Defecto a tierra en el lado de la red. El MM mide el contenido de la corriente a tierra a través de C_M .

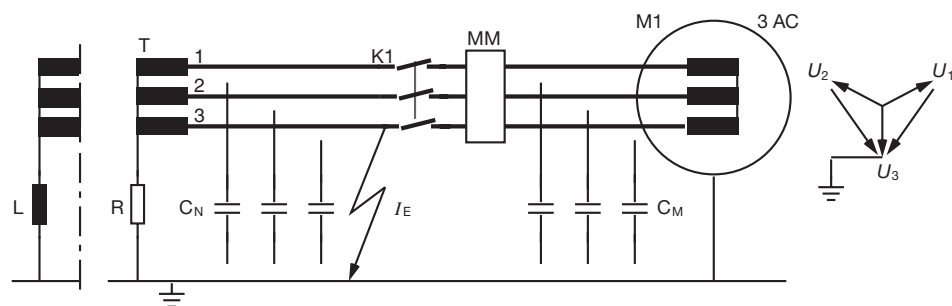


Fig. 6.19.2 Red con conexión a tierra de alta impedancia:

Defecto a tierra en el lado de la red. El MM mide el contenido de la corriente a tierra a través de C_M .

Red compensada:

En la zona defectuosa sólo circula una pequeña corriente. Viene determinada por la suma vectorial de las corrientes a tierra.

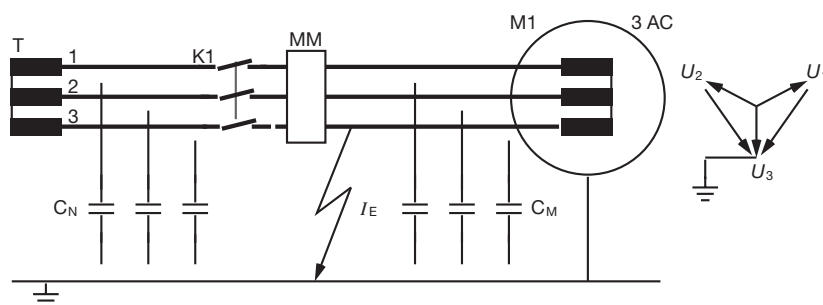


Fig. 6.19.3 Red aislada:

Defecto a tierra en el lado del motor en las líneas de suministro: El MM mide el contenido de la corriente a tierra a través de C_N .

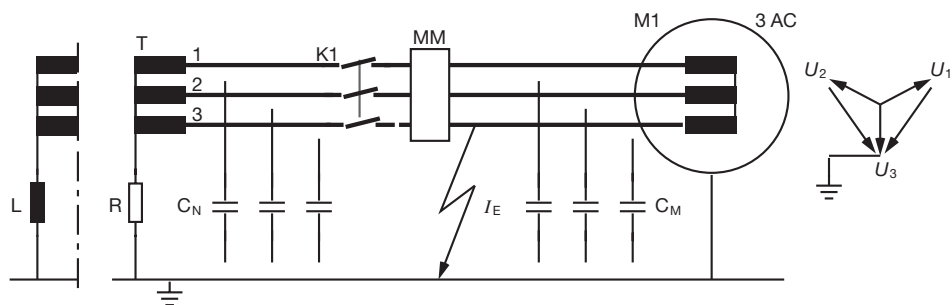


Fig. 6.20.1 Red con conexión a tierra de alta impedancia:

Defecto a tierra en el lado del motor en las líneas de suministro. El MM mide la suma vectorial de las corrientes a tierra a través de C_N y de la resistencia de tierra R .

El MM mide la suma vectorial de las corrientes a tierra a través de C_N y de la bobina de compensación L .

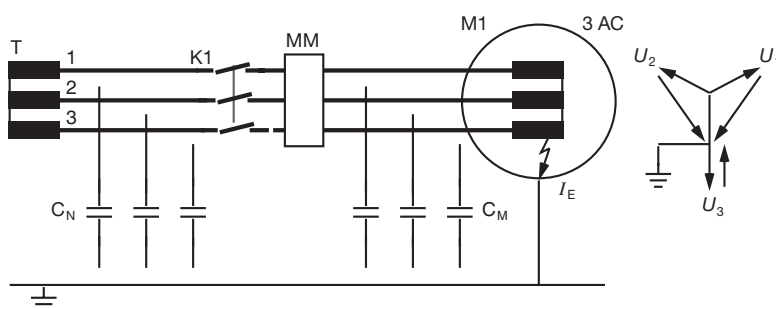


Fig. 6.20.2 Red aislada:

Defecto a tierra en el motor. Cuanto más cercano se encuentre el punto de derivación del punto estrella del motor, menor será la corriente de fuga.

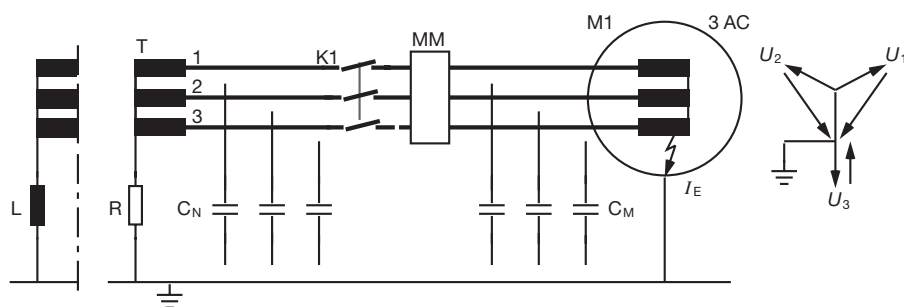


Fig. 6.20.3 Red con conexión a tierra de alta impedancia:

Defecto a tierra en el motor. El MM mide la suma vectorial de las corrientes a tierra de C_N y de la resistencia de toma de tierra R .

Red compensada:

El MM mide la suma vectorial de las corrientes a tierra a través de C_N y de la bobina de compensación L . Cuanto más cercano se encuentre el punto de derivación del punto estrella del motor, menor será la corriente de fuga.

6.6.2.4 Protección contra cortocircuitos de los motores de media tensión

Las elevadas tensiones de fase, producidas por cortocircuitos entre fases y entre éstas y tierra son detectadas. El suministro se puede interrumpir por medio del interruptor automático previamente conectado.

La protección contra cortocircuitos siempre se encuentra activa normalmente. Por ello, el nivel de respuesta ha de ajustarse ligeramente por encima de la corriente máxima de arranque.

El disparo se debe retrasar 50 ms., aproximadamente. Por otra parte, esto permite un rápido funcionamiento del interruptor automático de potencia y, además, evita cortes no deseados como resultado del pico de corriente.

Durante un cortocircuito, se dispara un relé de salida separado del resto de las funciones de protección. Éste activa un interruptor automático de potencia con suficiente capacidad de extinción del corto circuito. Para evitar que el contactor se desconecte en condiciones de cortocircuito y, por tanto, se destruya, el relé de salida de protección térmica ha de bloquearse para las corrientes que superen valores $>12 I_e$. Vea la **Fig.** 6.21.1 y la 6.22.1

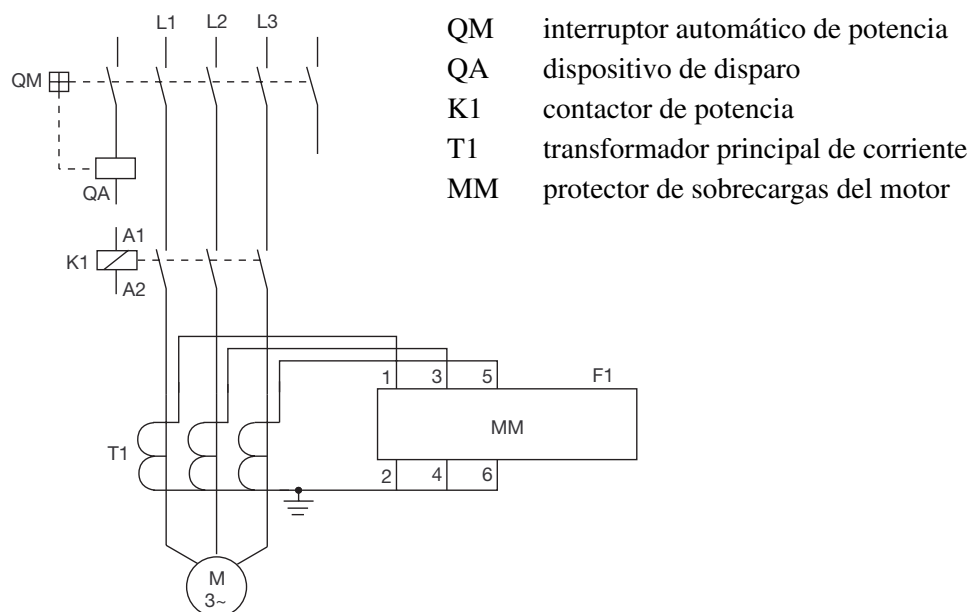


Fig. 6.21.1 MM para la protección contra cortocircuitos.

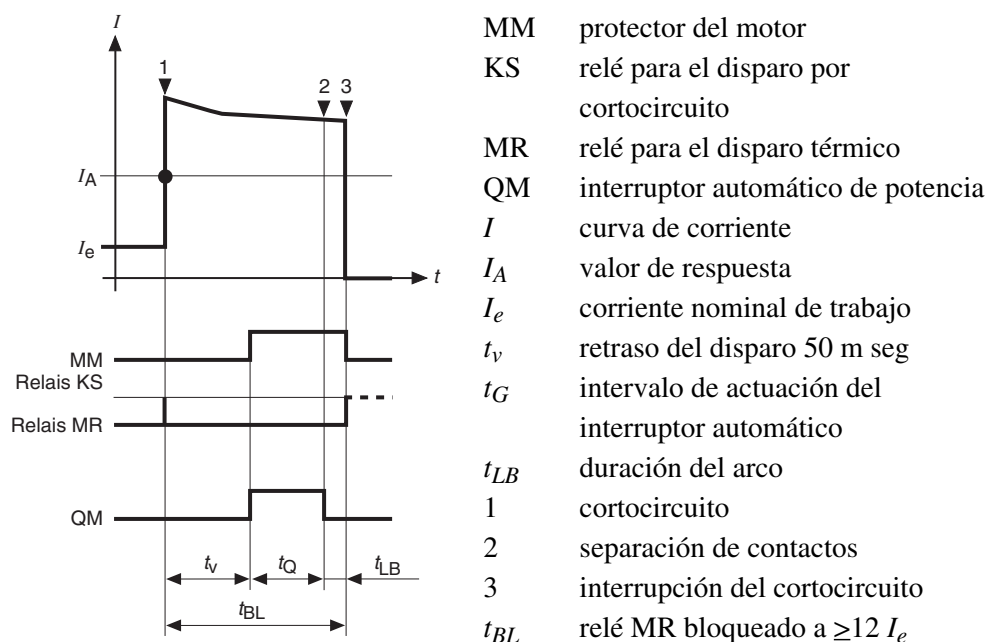


Fig. 6.22.1 Diagrama de corte de la alimentación por el MM en situación de cortocircuito.

6.6.3 Funciones protectoras del sistema

6.6.3.1 Bloqueos y sobrecargas elevadas

Durante sobrecargas intolerablemente elevadas y bloqueos, la desconexión inmediata del sistema evita esfuerzos mecánicos y térmicos innecesarios al motor y a los elementos transmisores de energía. Esto reduce los accidentes y las pérdidas de producción. Las sobrecargas de desarrollo lento se pueden detectar e informar de ellas muy prematuramente (ej. un cojinete defectuoso). La función protectora se activa después de que el motor alcance el régimen de trabajo de forma satisfactoria, al llegar a la corriente nominal de trabajo.

Fig. 6.23.1.

Aplicaciones

- sistemas de transporte
- molinos
- mezcladores
- trituradores
- sierras, etc.

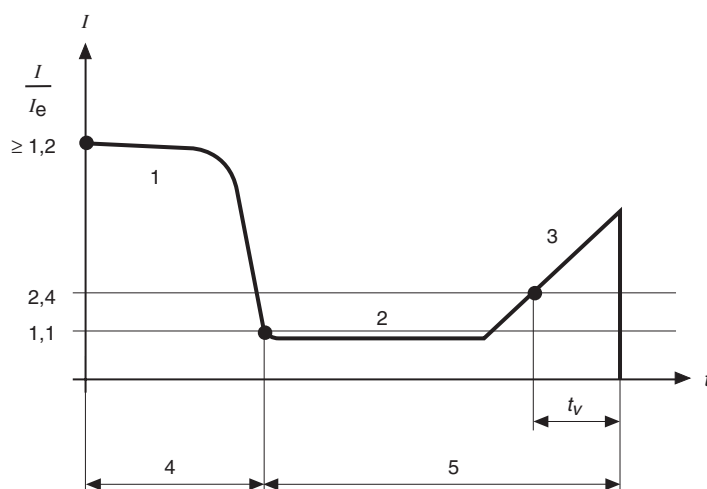


Fig. 6.23.1 Función protectora – sobrecargas elevadas y bloqueos.

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1 arranque del motor $I \geq 1,2 I_e$ | t_v retardo del disparo |
| 2 funcionamiento nominal | 4 protección contra bloqueos inactiva |
| 3 sobrecargas elevadas y bloqueos | 5 protección contra bloqueos activa (umbral de disparo) |

6.6.3.2 Subcarga

Los motores cuya refrigeración depende del medio que ellos mismos bombean (ej. bombas sumergidas, ventiladores) pueden llegar a sobrecalentarse, aún con baja carga, si no hay medio que bombear o la cantidad del mismo es insuficiente (filtros obstruidos, compuertas cerradas). En muchos casos estas máquinas se utilizan en lugares difícilmente accesibles. Las consecuencias son los largos periodos de reparación y los costes correspondientemente elevados.

Si no se alcanza la corriente especificada, esto también puede indicar una avería mecánica en el sistema (cintas transportadoras rotas, aspas de ventilador defectuosas, acoplamientos defectuosos, ejes rotos o herramientas desgastadas). Estas condiciones no suponen riesgo para el motor, pero conducen a pérdidas de producción. Su rápida detección ayuda a reducir los daños al mínimo.

Ha de ser posible retrasar la vigencia de la protección contra subcarga inmediatamente después de un arranque, con la idea de evitar un disparo en el intervalo en el que, por ejemplo, una compuerta o una válvula han de permanecer cerradas. **Fig. 6.24.1**

Aplicaciones

- bombas sumergidas
- ventiladores
- sistemas de transporte
- detección de fracturas en sistemas de transmisión mecánica

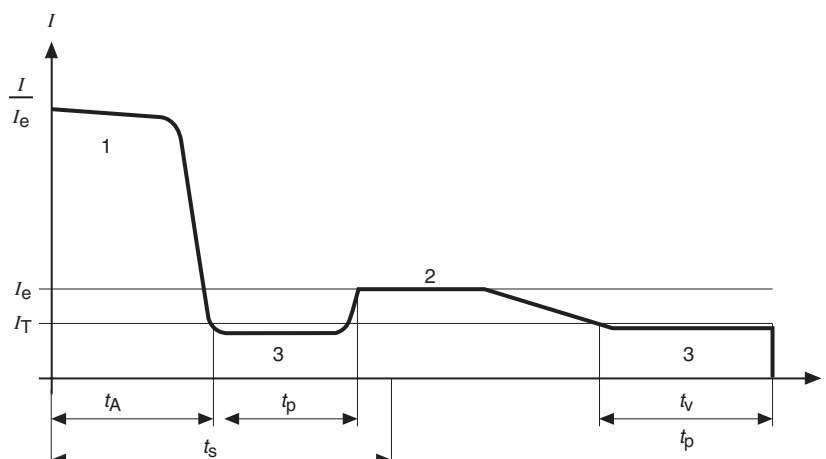


Fig. 6.24.1 Función de protección contra subcarga.

1	arranque	t_s	retraso de la activación
2	funcionamiento normal		protección contra subcarga - inactiva
3	funcionamiento en subcarga		
t_A	tiempo de arranque	t_V	retraso del disparo
I_T	umbral de disparo	t_P	alarma

6.6.3.3 Protección contra la inversión de giro

La protección de rotación detecta la secuencia de fases en la red de inducción y se dispara si ésta es incorrecta.

Son posibles dos métodos diferentes:

- *control constante*: la tensión de red aplicada se controla constantemente. Si se detecta una secuencia incorrecta de las fases (sentido de rotación en la red de inducción) se evita el arranque del motor.
- *reacción sólo después del arranque*: el dispositivo de protección sólo reacciona después de que el motor ha arrancado y circula una corriente medible. Sin embargo con este método de los sistemas de respuesta rápida o de baja inercia podrían arrancar con la rotación incorrecta y sufrir daños.

6.6.3.4 Control del tiempo de arranque

Se controla el tiempo de arranque. Si el arranque no se ha llevado a cabo durante el intervalo de tiempo preseleccionado, el sistema puede desconectarse. Este procedimiento de control es independiente de las condiciones térmicas del motor.

Aplicaciones

- Sistemas que requieran la detección de una carga incrementada o de un bloqueo del elemento motriz durante el arranque para evitar males mayores. Posibles causas: sistemas sobrecargados, cojinetes o elementos de transmisión defectuosos. **Fig. 6.25.1**

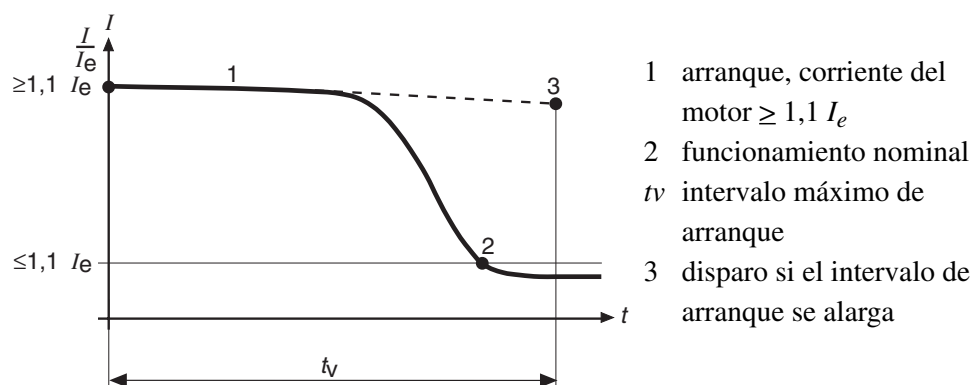


Fig. 6.25.1 Monitorización del intervalo de arranque.

6.6.3.5 Bloqueos durante el arranque

Si un dispositivo se bloquea durante la fase de arranque, el motor se calienta muy rápidamente y alcanza la temperatura límite del aislamiento, una vez agotado el periodo de bloqueo permisible. Los grandes motores de baja tensión y, sobre todo, los motores de media tensión en su mayoría poseen periodos de bloqueo permisible muy cortos, aunque permiten arranques considerablemente más largos. Para garantizar el arranque, es muy frecuente el tener que incrementar el periodo de bloqueo. Con la ayuda de un sensor externo de rotación o de parada, el elemento de protección detecta el bloqueo durante el arranque y desconecta el motor inmediatamente. Esto significa que el motor y el sistema de potencia no están sujetos a esfuerzos innecesarios durante un bloqueo. Durante el funcionamiento normal, las sobrecargas o los bloqueos se detectan utilizando la función “sobrecargas elevadas y bloqueos”. Vea la Fig. 6.25.2.

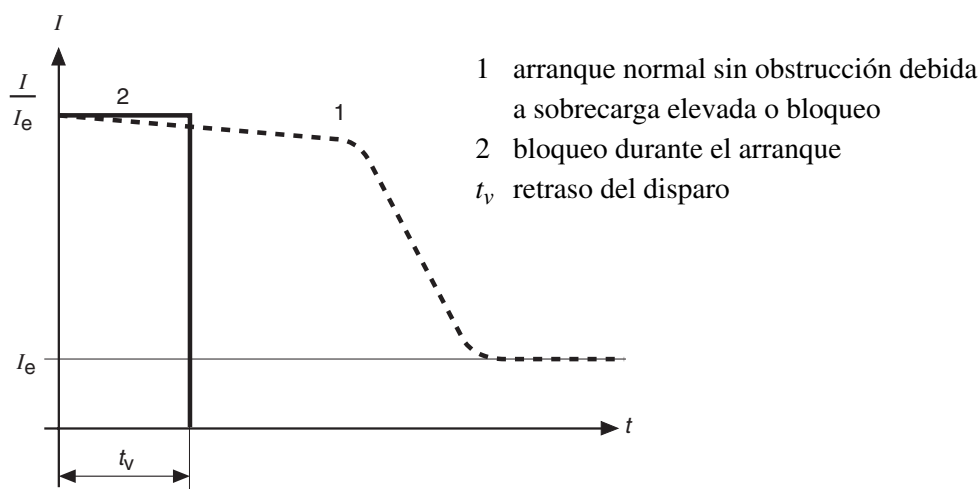


Fig. 6.25.2 Bloqueos durante el arranque.

Aplicaciones

- grandes motores de baja tensión
- motores de media tensión
- sistemas de transporte
- molinos
- mezcladores
- trituradores
- sierras
- grúas
- plataformas elevadoras

6.6.4 Funciones de control

Además de sus funciones protectoras, los elementos electrónicos de protección contra sobrecargas también desempeñan tareas de control y comunicación. En un sistema de control construido jerárquicamente, estos dispositivos se pueden combinar con el control manual o inmersos en la red.

En protectores de motores particularmente sensibles, los cuales implementan simulación de temperatura, por ejemplo, en base a un modelo de dos cuerpos, además de la corriente solicitada por el motor, su carga térmica también puede ayudar a utilizar y controlar un proceso para su óptimo funcionamiento.

6.6.4.1 Avisos de precaución

Es muy frecuente el no desear detener un sistema de forma inmediata en el caso de que se produzca una situación inusual (que se desvía del estándar). Los avisos de precaución pueden ser útiles para reducir la carga, o bien, por ejemplo, permitir la corrección de un defecto a tierra sólo durante la próxima pausa operacional.

Hay que distinguir entre:

- *avisos de precaución dependientes de la corriente para:*
 - sobrecarga por debajo del umbral de bloqueo
 - subcarga
 - asimetría
 - defectos a tierra.
- *avisos de precaución dependientes de la temperatura para:*
 - nivel por debajo de la temperatura límite

6.6.4.2 Control de la carga

En el caso de molinos, trituradores de piedra, o sistemas de reparto se puede optimizar o controlar la carga del motor. Si el protector del motor copia con precisión la temperatura de éste, es posible ajustar el sistema a la temperatura máxima de funcionamiento, incluso, con cambios de carga. Esto permite la óptima utilización del sistema. El procedimiento de control se puede llevar a cabo de forma manual, basándose en los datos de calentamiento ofrecidos, o por medio de un mecanismo central de control.

6.6.4.3 Seguro de rearmado

Los motores que han sido desconectados debido a un sobrecalentamiento sólo pueden ser arrancados de nuevo una vez que se hayan enfriado lo suficiente y el mando de relajación del protector haya sido rearmado. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que sólo una copia precisa del proceso de enfriamiento asegurará que el motor no estará en situación de riesgo durante el próximo arranque.

Para asegurar el arranque de nuevo de un motor estacionariamente caliente a continuación de un corte operacional, dicho motor ha de enfriarse hasta que posea la suficiente reserva térmica. La conexión mostrada en la **Fig. 6.27.1** previene intentos prematuros e insatisfactorios, así como esfuerzos adicionales del motor.

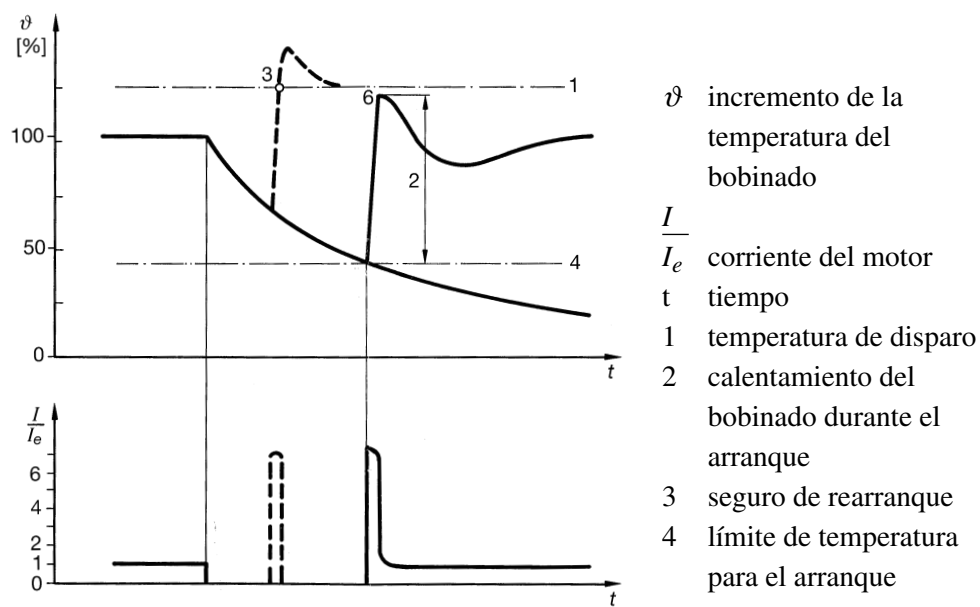


Fig. 6.27.1

6.6.4.4 Conmutación estrella - triángulo

Como la corriente del motor se mide continuamente, es posible controlar la conexión estrella - triángulo, independientemente de la carga, u optimizarla con respecto al tiempo.

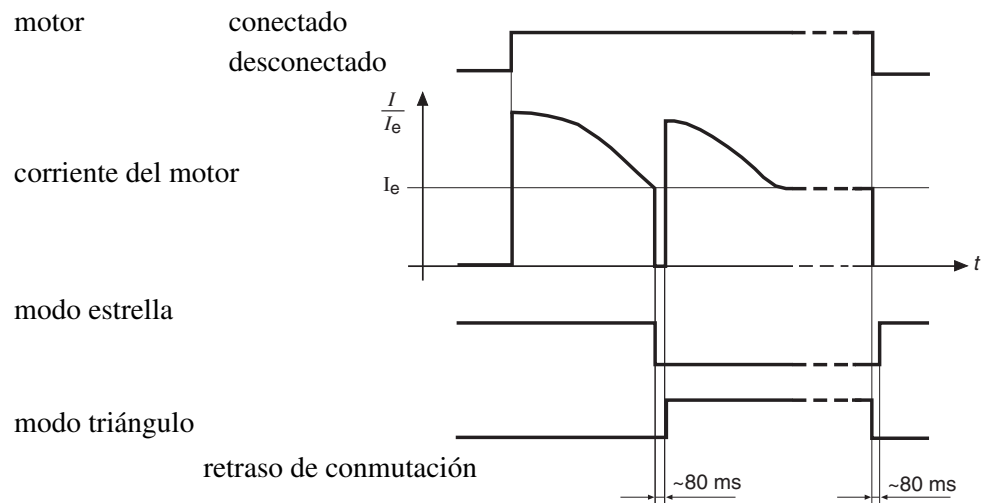


Fig. 6.27.2 Diagrama estrella triángulo.

6.6.4.5 Arranque en caliente

Los bobinados del motor se pueden calentar por encima de la temperatura límite permitida durante un intervalo de tiempo reducido. Esto es aplicable, en particular, a los motores de rotor crítico. La temperatura del rotor llega a 250 C, que es considerablemente mayor que la temperatura de funcionamiento continuo de 100...150 C, lo cual se permite durante corto periodo de tiempo. Esto acarrea un periodo permisible de arranque del motor relativamente largo, el cual todavía está caliente por el trabajo anterior. En general, este periodo es sólo un poco más corto que el correspondiente al arranque en frío. Esta propiedad de un motor se puede utilizar para una sobrecarga del motor particularmente sensible sin afectar de forma adversa la reproducción correcta de la temperatura.

Fig. 6.28.1.

La condición adicional “limitación del número de arranques” puede prevenir demasiados arranques en caliente.

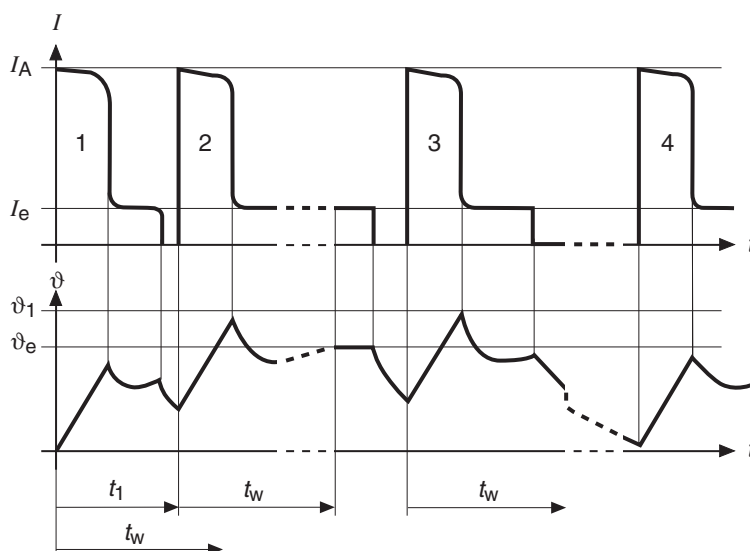


Fig. 6.28.1 Curvas de corriente y temperatura durante los arranques en frío y en caliente y umbrales de disparo (ej. SMM 825).

I_A corriente de arranque	1 1. arranque (en frío)
I_e corriente nominal	2 1. arranque en caliente
ϑ_e temperatura permisible del motor para el funcionamiento continuo y umbral normal de disparo para un protector de motor de funcionamiento continuo	3 2. arranque en caliente
ϑ_I temperatura del motor, permisible durante un corto intervalo de tiempo, y umbral de disparo de sobrecarga del motor con curva de disparo modificada para el arranque en caliente	4 arranque en frío (una vez frío el motor)
	t_I min. de tiempo antes de que el arranque en caliente 1. sea posible ($t_I > 10 t_6 I_e$)
	t_W tiempo mínimo entre 2 arranques en caliente (4 .. 60 min)

Aplicaciones

Todos los sistemas que hayan de ser arrancados de nuevo inmediatamente y de forma segura después de una desconexión de la tensión.

- Procesos químicos y sistemas de producción, ej.:
 - mezcladores
 - centrifugadores
 - bombas
 - sistemas de transporte
- Minas y túneles , ej.:
 - ventiladores de aire fresco
 - ascensores de pasajeros
 - bombas de agua
- Suministro de aguas
- Drenajes

6.6.4.6 Posibilidades de comunicación

Los actuales protectores electrónicos de motores permiten procesar, guardar y acceder a todos los datos relevantes y estadísticos, utilizando tecnología basada en microprocesadores:

- corriente de salida (motor)
- asimetría
- corriente a tierra
- incremento de la temperatura
- capacidad térmica
- tiempo previsto hasta el disparo
- periodo de operación
- datos sobre las condiciones del contactor y del motor
- causa y hora de anteriores avisos y disparos

Todos estos datos se pueden comunicar por medio del control central y del control de la consola del operador o por conexión a la red. También es posible adaptar continuamente los parámetros de trabajo almacenados en el protector del motor por medio de la red para requerimientos de proceso cambiantes. Los protectores de motores de diseño modular poseen una conexión para los protocolos de bus más importantes.

6.6.5 Aplicaciones de los protectores electrónicos de motores

6.6.5.1 Motores de baja inercia térmica

Entre estos motores se encuentran, por ejemplo, los motores de bombas sumergibles, compresores herméticos para la producción de frío etc., que en la mayor parte de los casos están equipados con sistemas de enfriamiento altamente eficaces. Su periodo de bloqueo permisible normalmente es corto, debido a que los bobinados han sido diseñados para cargas específicas elevadas.

Estos dispositivos requieren que el tiempo de disparo se ajuste entre 2 y 4 segundos. La protección contra subcarga es particularmente útil para los motores de bombas sumergibles, puesto que no se refrigeran si el medio bombeado está ausente y, por tanto, se ponen en situación de riesgo térmico muy rápidamente.

6.6.5.2 Motores de elevada inercia térmica

Si se han de mover masas de gran inercia con largos periodos de arranque, como es el caso, por ejemplo, de ventiladores, centrifugadores, sistemas de mezclado etc., se utilizan con frecuencia motores con bobinados y jaulas sobredimensionadas.

La protección electrónica del motor es particularmente adecuada en estos dispositivos, puesto que este tipo de protección es capaz de copiar correctamente el incremento de temperatura durante el arranque. Para obtener un ajuste correcto, el intervalo de bloqueo permisible y la correspondiente corriente de bloqueo han de ser datos conocidos.

6.6.5.3 Motores rotor críticos

Los motores de media tensión y los grandes de baja tensión son, en la mayoría de los casos, motores de rotor crítico. Los intervalos permisibles de arranque y bloqueo están limitados por la capacidad térmica del rotor y vienen especificados por el fabricante del motor. Si el tiempo de disparo del protector del motor se ajusta a un intervalo de bloqueo permisible, entonces la proyección térmica refleja los requerimientos prácticos del motor.

Las altas temperaturas son permisibles en el rotor durante un corto intervalo de tiempo. Por esta razón, el motor está sobre protegido en el arranque en caliente.

Si los motores de rotor crítico se utilizan bajo condiciones de elevada carga durante el arranque, se ha de tener en cuenta que alcanzarán su temperatura crítica muy rápidamente durante el bloqueo. Por ello, el periodo de arranque con carga elevada ha de ajustarse a un valor considerablemente más elevado que el intervalo de bloqueo permisible. Para garantizar la protección contra bloqueo durante el arranque, incluso en esas condiciones, se ha de controlar la velocidad durante el tiempo de arranque por medio de un cuentarrevoluciones. Durante el funcionamiento, el protector también ha de reaccionar inmediatamente a la condición de bloqueo.

6.6.5.4 Motores de media tensión

Los motores de media tensión se utilizan para potencias de salida de 200 kW en adelante, aproximadamente. Su estructura y función son las mismas que las de los motores de baja tensión. En general, son rotores críticos y han de protegerse de acuerdo con dicha característica.

6.6.5.5 Motores de anillos rozantes

Los motores de anillos rozantes no están en situación de riesgo térmico, incluso con arranques repetitivos. Las pérdidas por calor en el arranque se transmiten a las resistencias de arranque situadas fuera del motor. En general, es más fácil proteger los motores autoventilados de anillos rozantes que los motores normales de jaula de ardilla, debido a que no poseen desplazamiento de corriente y no han de trabajar con deslizamiento incrementado durante periodos de tiempo más largos.

Existen materiales de aislamiento sensibles a la temperatura no sólo en el estator de los motores de anillos rozantes, sino también en su rotor. Por esta razón, el tiempo de disparo viene determinado por las partes térmicamente críticas. Los intervalos permisibles de bloqueo y arranque se especifican por el fabricante del motor. Si el grado de inercia se ajusta adecuadamente, los protectores de motores actuales también protegen a las resistencias de arranque contra una sobrecarga térmica. Debido a la frecuencia profunda (frecuencia de deslizamiento), no es fácil establecer los valores adecuados de corriente en el circuito del rotor.

La corriente del rotor es, aproximadamente, proporcional a la corriente del estator medida por el protector del motor. Por lo tanto, se puede lograr su protección, incluso cuando la energía se reenvía del rotor a la red, para la cascada de conversión estática sub-síncrona de bajas velocidades. La condición previa es que se garantice la refrigeración, p. ej. utilizando ventilación forzada.

6.6.5.6 Motores multi - velocidades

Los motores multi-velocidades se implementan con bobinados seccionales, o bien conmutando secciones del bobinado, como la conexión Dahlander. Estas secciones del bobinado están situadas en el mismo emplazamiento y, por ello, su acoplamiento térmico es muy próximo o, incluso, idéntico. Por esta razón, el bobinado de una etapa también calienta los de las otras durante el funcionamiento continuo. Después de un periodo de funcionamiento más largo, ambos llegarán a tener la misma temperatura.

Es práctica común el utilizar protectores del motor por separado para cada velocidad. Sin embargo, este método posee la desventaja de que el segundo dispositivo protector no mide las condiciones térmicas de funcionamiento de la etapa anterior durante la conmutación de una etapa de velocidad a la otra. Éste necesita un cierto tiempo para calentarse suficientemente y, de este modo, proporcionar al motor la adecuada protección contra sobrecargas.

Es posible disponer de una proyección precisa de la temperatura y, por lo tanto, de una protección segura si el dispositivo protector ofrece dos ajustes de corriente diferentes y mide las corrientes de ambas etapas del motor.

6.6.5.7 Motores controlados por frecuencia

Ha de tenerse muy presente que la refrigeración de los motores autoventilados no está plenamente garantizada a baja velocidad. El incremento de la temperatura del motor no sólo depende de la corriente consumida por éste. Vea la Fig. 6.32.1. Existen pérdidas adicionales del 10%, aproximadamente, debido a los armónicos.

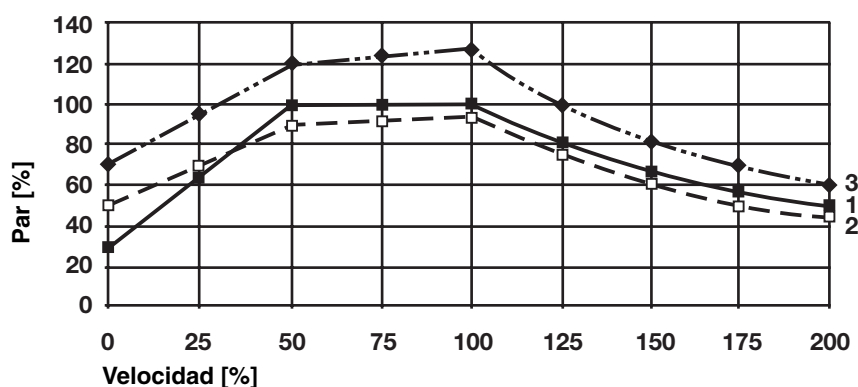


Fig. 6.32.1 Carga térmica continua permisible para un motor de inducción controlado por un dispositivo de velocidad variable.

- 1 par de carga
- 2 par de un motor estándar con la carga continua permisible
- 3 par de un motor estándar de la potencia inmediatamente superior

Por esta razón, estos motores también han de estar equipados con sensores de temperatura, p.ej. sensores PTC.

La protección dependiente de la corriente puede estar ya incluida en el convertidor estático, o puede lograrse, independientemente de la frecuencia, por medio de dispositivos externos:

- relé térmico basado en principios bimetálicos
- interruptor automático de potencia
- protectores automáticos de motores con protección PTC integrada

El margen de frecuencias permisible, así como la influencia de las elevadas frecuencias de conmutación utilizadas en el convertidor de frecuencia, han de tenerse en consideración al elegir un tipo particular de protector.

6.6.5.8 Arranque y parada suaves

No todos los elementos de protección de motores son adecuados para proteger motores activados por medio de elementos de arranque suave o estático basados en regulación de tensión. Durante el arranque, se dan corrientes que se desvían considerablemente de la forma sinusoidal y que pueden obstruir ciertas funciones de protección. Por esta razón, en los dispositivos básicos de sobrecarga, las funciones afectadas se han de desactivar durante las fases de arranque y parada suaves.

Si el arrancador estático también está equipado con la función de frenado, el protector contra sobrecargas ha de ignorar la asimetría que se da durante la fase de frenado.

Si los motores han de trabajar con tensión reducida durante un largo periodo de tiempo, han de protegerse adicionalmente por medio de sensores de temperatura (p. ej. PTC).

6.6.5.9 Motores con ventilación forzada

La refrigeración de los motores ventilados exteriormente no depende de la velocidad del motor. Estos elementos se ventilan durante un cierto periodo de tiempo posterior a su parada. El rápido enfriamiento del motor se puede tener en consideración en el protector electrónico de sobrecargas.

6.6.5.10 Incremento de la temperatura ambiente

Si la temperatura de refrigeración es superior a 40 °C, la máquina ha de funcionar sólo con potencia reducida. Este problema también puede darse a temperaturas ambientales normales si ésta se incrementa drásticamente, p. ej., a causa de la luz solar o de otras fuentes caloríficas.

En principio, este problema ha de tenerse en cuenta durante la planificación. El elemento motriz ha de dimensionarse adecuadamente, o bien, ha de elegirse una clase de aislamiento superior y el protector de sobrecargas ha de adaptarse a dichas condiciones. Ciertas aplicaciones tienen en cuenta deliberadamente la correspondiente reducción del periodo de vida.

Para el incremento de la temperatura ambiente existen las siguientes soluciones comunes:

- Corregir las características de disparo del protector de sobrecargas del motor, así como la carga del sistema, de acuerdo con la temperatura ambiente. Los protectores particularmente sensibles tienen en cuenta la temperatura ambiente de forma automática en el modelo de simulación de temperatura por medio de los sensores de temperatura, p. ej. PT100.
- Corregir el ajuste de corriente: por medio de un termostato se conmuta el ajuste de corriente del protector de sobrecargas del motor a valores preseleccionados de acuerdo con la temperatura ambiente. Esto es posible para protectores de sobrecargas diseñados para motores de dos etapas con dos ajustes de corriente activables. Al mismo tiempo, el termostato también puede controlar la carga del dispositivo.

6.6.5.11 Motores en áreas con riesgo de explosión

El funcionamiento de los dispositivos eléctricos en las zonas 1 y 2 requiere permiso. La zona 2 es un entorno menos exigente, porque los posibles disturbios sólo tienen lugar en un corto periodo de tiempo. La atmósfera con riesgo de explosión puede estar presente sólo durante un corto periodo de tiempo y no durante el funcionamiento.

De acuerdo con la correspondiente clase de ignición, el motor requiere el tiempo t_E , con la finalidad de calentarse desde su temperatura operacional a la temperatura crítica. Por esta razón, el tiempo de disparo de sobrecarga del motor ha de corresponder con el tiempo t_E o ser más corto.

Al contrario que los relés térmicos bimetalicos los relés electrónicos de protección de motores también tienen en cuenta el tiempo de enfriamiento, resultando en una reserva de protección incrementada si se comparan con los relés térmicos bimetalicos.

6.6.5.12 Protección de los motores de inducción compensados

Durante la compensación simple, los condensadores necesarios para la compensación de la potencia reactiva se conectan directamente a los terminales del motor. (Excepción: si se aplican los arrancadores estáticos en línea con 6.6.5.8, los condensadores se deberán instalar aguas arriba del arrancador estático, existen más consideraciones al respecto). Esto significa que se conmutan motor y condensador simultáneamente. Las líneas de suministro de la red y los dispositivos de conmutación y protección sólo transportan la corriente compensada debido a que la corriente reactiva circula principalmente entre el condensador y el motor.

La corriente compensada es la suma geométrica de la corriente reactiva del motor, reducida por la corriente reactiva del condensador, y la corriente activa del motor. El ajuste de corriente en el protector contra sobrecargas ha de hacerse utilizando la corriente compensada correspondiente, en vez de la corriente nominal de trabajo del motor. Esto último solo se puede medir con el motor a plena carga y, por lo tanto, se calcula mayoritariamente utilizando la siguiente fórmula general:

$$I_{eF} \approx I_e \frac{\cos\phi_N}{\cos\phi_2}$$

I_{eF} corriente de ajuste en Amperios

I_e corriente nominal de trabajo del motor en Amperios

$\cos\phi_N$ factor de potencia del motor para I_e

$\cos\phi_2$ factor de potencia compensado

Mientras que los valores de I_e y $\cos\phi_N$ se pueden encontrar en las especificaciones del fabricante, o en la placa de características, es realmente difícil el medir o calcular el $\cos\phi_2$. Si se asume que **$\cos\phi_2 = 0,95$** para condensadores especificados correctamente, la protección del motor está garantizada.

Para la compensación centralizada y de grupo, el dispositivo protector contra sobrecargas transporta la misma corriente (no compensada) que el motor y ha de ajustarse, por tanto, a la corriente nominal de trabajo.

7 Selección del protector de motor contra sobrecargas adecuado

El concepto de protección económica de un motor requiere que el protector de sobrecarga se adapte a los requerimientos del motor y del sistema en el que ha de trabajar.

No es factible el proteger un sistema no crítico con dispositivos de alta calidad. Por otra parte, y en cualquier caso, los daños pueden ser considerables si una parte importante de la planta de producción con condiciones difíciles de arranque y trabajo no se encuentra adecuadamente monitorizada y protegida.

Las tablas siguientes han de simplificar la elección adecuada del dispositivo o la combinación de diversos elementos. Todos los criterios relevantes han de considerarse y tenerse en cuenta de nuevo para cada aplicación.

Los principales criterios de selección son:

- aplicación
- tipo de dispositivo y tamaño del motor
- condiciones ambientales
- requerimientos de control del motor

7.1 Selección del protector de sobrecarga dependiente de la aplicación

Aplicación	Cizallas	Prensas	Trituradores	Molinos	Elevadores	Grúas	Cintas transportadoras	Ventiladores	Compresores de refrigeración	Compresores	Bombas hidráulicas	Bombas sumergibles	Bombas
Comportamiento Operacional Típico													
	●	●			●	●	●			●	●	●	
			●	●			○	●					
								●				●	
				○		●	○	●	●	●	●	●	●
			●	●			●						
	●	●			●	●	○		○	○	○	○	○
	●	●	●	○		○							
Fallos típicos/requerimientos de protección													
	○	○	○	○		○	●	○	●	●	●	●	○
	○	○	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	●
	●	●	●	●		○	●						
	●	●	●	●	●	○	●	○	●	○	○	○	●
			○		○	○	●	●				●	
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○			○	○					
	○	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○
	○	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○
Requisitos de													
protección del motor, dispositivos adecuados													
										◇	◇	◆	
										◇	◇	◆	
	◇	◇			◇	◇	◇	◇	◇	◆	◆	◇	◇
	◆	◆			◇	◇	◇	◇	◇	◆	◆	◇	◇
	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◇

Comportamiento operacional típico / fallos típicos / requerimientos de protección

○ = Posible
● = Típico

Protección del motor

◇ = Solución posible
◆ = Solución óptima

7.2 Selección del contactor en función del motor y dispositivo motriz

Motor / dispositivo motriz	Arranque estrella - triángulo	Motores de dos velocidades	Controlado por frecuencia 1)	Arrancadores estáticos	Motores de anillos rozantes	Motores EEx e	Motores de alta tensión	Motores Lv- >355 kW	Motores Lv- >90...355 kW	Motores Lv- >45...90 kW	Motores Lv- <45 kW	
												Fallos típicos / requerimientos de protección
	○	○		●	●	●	●	●	○			Bloqueo en el arranque
	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	Sobrecarga elevada durante el funcionamiento
	●	●	○	●	●	●	●	●	○			Bloqueo durante el funcionamiento
												Sobrecarga permisible durante un periodo corto
							●					Cortocircuito (motores de alta tensión)
	○	○	○	○	○	○		○	●	●	●	Conexión a tierra con el método "Holmgreen"
	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○		Conexión a tierra con transformador sumador de corriente (CT de núcleo equilibrado)
	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	Fallo de fases
	●	●	●	○	○	○	●	●	●	○		Asimetría
					○	○	●	●	●	○		Asimetría considerada térmicamente
					○	○	●	○	○			Temperatura ambiente considerada
			●		○	○		○	●	●	○	Sensor de temperatura PTC en el bobinado
			●		○	○	●	●	●			Sensor de temperatura PT 100 en el bobinado
												Requerimientos de
												protección del motor, dispositivos adecuados
	◆	◇	◇	◇	◇						◆	Baja: Bul. 140 (+ Bul. 817)
	◆	◇	◇	◇	◇	◆					◇	Baja: 193-EA (+ Bul. 817)
	◆	◇	◇	◆	◆	◆			◇	◆	◇	Media: CEFB 1; 193-EB (+ Bul. 817)
	◆	◇	◇	◆	◆				◇	◆	◇	Media: SMP 3 (+ Bul. 817)
	◆	◆	◇	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◇		Alta: SMM 825

Fallos típicos / requisitos de protección

○ = Possible

● = Típica

Protección del motor

◇ = Solución posible

◆ = Solución óptima

1) Restricciones	140	Máx. 400 Hz para corriente sinusoidal pura
	CEF 1-12	10....400 Hz (CEFB 1-41/42)
	193-E, SMP 3	En clarificación
	SMM 825	30 a 100Hz

7.3 Selección del protector dependiendo de las condiciones ambientales

Condiciones ambientales	Humedad	Polvo	Altas temperaturas	Grandes fluctuaciones de temperatura	Sin requerimientos específicos	
						Función de protección
		●	●	●		Sensor de temperatura PTC en el bobinado
		●	●	●		Sensor de temperatura PT 100 en el bobinado
		○	●	●		Temperatura ambiental considerada térmicamente
	●	○				Conexión a tierra por el método "Holmgreen"
	●	○				Conexión a tierra con transformador sumador de corriente
						Requerimientos de protección
						del motor, dispositivos adecuados
		◆	◆	◇	◆	Bajo: Bul. 140 (+ Bul. 817)
		◆	◇	◇	◆	Bajo: 193-EA (+ Bul. 817)
		◆	◇	◇	◆	Medio: CEFB 1; 193-EB (+ Bul. 817)
	◇	◆	◇	◇	◆	Medio: SMP 3 (+ Bul. 817)
	◆	◆	◆	◆	◆	Alto: SMM 825

Funciones de protección
○ = Posible
● = Típica

Protección del motor
◇ = Posible solución
◆ = Solución óptima

7.4 Selección de la protección de acuerdo con los criterios de control de motores

Funciones MCC	Reconocimiento	Motor desc./conect.	Diagnos	Comunicación	Pantalla, dispositivo	Estadísticas	Comunicación	Pantalla, dispositivo	Avisos	Comunicación	Presentación en dispositivo	Datos operacionales	Con comunicación	Con relé de detección	
															Funciones de aviso útiles
										●	●		●	●	Tiempo de arranque excesivo
										●	●		●	●	Sobrecarga elevada durante el funcionamiento
										●	●		●	●	Conexión a tierra con transformador sumador de corriente
										●	●		●	●	Asimetría
										●	●		●	●	Sensor de temperatura PT 100 en el bobinado
															Datos operacionales de utilidad
										●	●		●	●	Corriente del motor
										●	●		●	●	Asimetría
										●	●		●	●	Corriente a tierra
										●	●		●	●	Incremento de temperatura
										●	●		●	●	Temperatura del estator
															Requerimientos de
															Control de motor, dispositivos adecuados
	◆	◆													Bajo: Bul. 140 + Interfaz E/S
	◆	◆													Bajo: 193-EA/EB, + Interfaz E/S
		◆	◇			◇			◇			◇			Medio: SMP 3
	◆	◆	◇			◇			◇			◇			Medio: SMP 3 + Interfaz E/S
			◆	◆		◆	◆		◆	◆		◆	◆		Alto: SMM 825
	◆	◆	◆	◆		◆	◆		◆	◆		◆	◆		Alto: SMM 825 + Interfaz E/S

Funciones útiles de precaución y datos operacionales

○ = Posible
● = Típica

Control de motor

◇ = Posible solución
◆ = Solución óptima



Rockwell Automation ayuda a sus clientes a lograr mejores ganancias de sus inversiones integrando marcas líder de la automatización industrial y creando así una amplia gama de productos de integración fácil. Estos productos disponen del soporte de proveedores de soluciones de sistema además de los recursos de tecnología avanzada de Rockwell.

Con oficinas en las principales ciudades del mundo.



Alemania • Arabia Saudita • Argentina • Australia • Bahrein • Bélgica • Bolivia • Brasil • Bulgaria • Canadá • Chile • Chipre • Colombia • Corea • Costa Rica • Croacia • Dinamarca • Ecuador • Egipto • El Salvador • Emiratos Arabes Unidos • Eslovaquia • Eslovenia • España • Estados Unidos • Finlandia • Francia • Ghana • Grecia • Guatemala • Holanda • Honduras • Hong Kong • Hungría • India • Indonesia • Irlanda • Islandia • Israel • Italia • Jamaica • Japón • Jordania • Katar • Kuwait • Las Filipinas • Líbano • Macao • Malasia • Malta • México • Marruecos • Nigeria • Noruega • Nueva Zelanda • Omán • Pakistán • Panamá • Perú • Polonia • Portugal • Puerto Rico • Reino Unido • República Checa • República de Sudáfrica • República Dominicana • República Popular China • Rumania • Rusia • Singapur • Suecia • Suiza • Taiwan • Tailandia • Trinidad • Tunisia • Turquía • Uruguay • Venezuela

Sede central de Rockwell Automation: 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204 USA, Tel: (1) 414-382-2000, Fax: (10) 414-382-4444

Sede central europea de Rockwell Automation: Avenue Herrmann Debrouxlaan, 46, 1160 Bruselas, Bélgica, Tel: (32) 2 663 06 00, Fax: (32) 2 663 06 40

Sede central de Asia-Pacífico de Rockwell Automation: 27/F Citicorp Centre, 18 Whitfield Road, Causeway Bay, Hong Kong, Tel: (852) 2887 4788, Fax: (852) 2508 1846