

IV - PROTECÇÃO, COMANDO E ALIMENTAÇÃO DE MOTORES DE BT

1 - INTRODUÇÃO

Na instalação de um motor eléctrico, têm de ser considerados os equipamentos de comando e protecção que, dentro dos regimes ou situações para os quais foi previsto, assegurem o seu bom funcionamento e utilização. Esses equipamentos deverão ser escolhidos e dimensionados de forma a eliminarem ao máximo, tudo o que possa originar custos excessivos com a manutenção do motor ou a diminuição da sua vida útil.

Actualmente, os motores utilizados na grande maioria dos casos na prática, são os de indução (ou assíncronos) trifásicos de rotor em curto-circuito, para os quais se verifica durante o arranque uma forte chamada de corrente. Com a finalidade de reduzir esse valor, prejudicial para as redes e instalações no que respeita a perdas e q.d.t., recorre-se habitualmente a processos e dispositivos especiais de arranque, que em certas situações os regulamentos e Empresas Distribuidoras exigem. Os vários processos de arranque classicamente utilizados, baseiam-se no arranque a tensão reduzida. As características dos vários processos de arranque, bem como os critérios que conduzem à sua escolha, são apresentados em dois Quadros no final deste capítulo. Nesses Quadros é referido, o outro tipo de motor de indução (ou assíncrono), que é normalmente conhecido, por motor com anéis colectores ou de rotor bobinado. Actualmente, para os motores assíncronos, em situações mais exigentes de qualidade de serviço, são usados arrancadores electrónicos, com os quais se podem obter arranques e paragens suaves e uma grande limitação das correntes de arranque, assim como, tornar mais económico o seu serviço, dado proporcionarem uma melhor adaptação do motor a cada caso de aplicação.

2 - PROTECÇÃO CONTRA SOBRECARGAS

Os motores podem, dentro de condições adequadas, funcionar de acordo com as suas classes de isolamento em determinados regimes de sobrecarga. Porém, a vida útil dos motores é tanto mais encurtada, quanto mais severos forem os regimes de sobrecarga que lhes forem impostos.

2.1 - RELÉS TÉRMICOS

A protecção de um motor contra sobrecargas deverá ser concebida de forma a aproveitar as máximas capacidades construtivas do motor. Para tal, ela deverá acompanhar os tempos máximos permitidos, de acordo com as Normas de Fabrico do motor, para cada situação de sobrecarga. Essa protecção é normalmente assegurada pelos relés térmicos

O relé térmico é um relé de máxima intensidade que actua pelo aumento de temperatura devido ao efeito de Joule. É constituído por duas lâminas metálicas justapostas, constituídas por metais de coeficiente de dilatação térmica diferente. Como as lâminas estão solidárias e uma dilata-se mais que a outra, o conjunto das duas lâminas encurva-se, e ao fazê-lo, actua um contacto inserido num circuito (relé indirecto) ou um orgão mecânico (relé directo).

O relé térmico é pois uma protecção de máxima, de temporização dependente, visto a rapidez de deformação da lâmina, depender da intensidade da corrente.

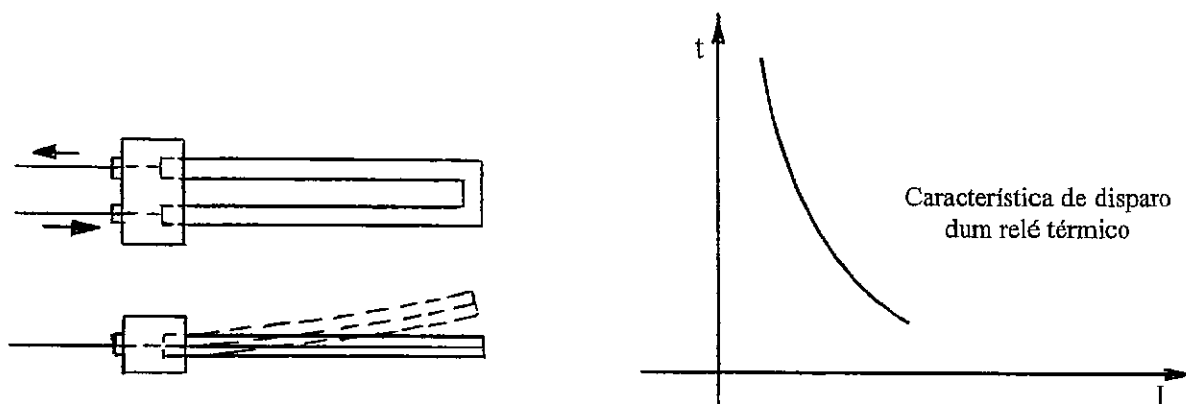


Fig.1

O relé térmico é lento demais para assegurar a protecção contra curto-circuitos. Pelo contrário, é para a maioria dos casos a protecção indicada contra sobrecargas, visto o perigo destas ser o aquecimento que provocam, e ela actuar precisamente devido à temperatura num ponto do circuito: a lâmina bimetálica. O relé térmico não dispara pois instantaneamente para uma dada corrente no circuito, mas sim, quando nesse ponto do circuito se atingir uma certa temperatura.

O relé térmico deverá possuir uma característica tempo-corrente, próxima da do motor, devendo ser uma imagem térmica tão fiel quanto possível do que nele se passa, o que é tão mais importante, quanto mais elevada for a potência do motor. Para tal, basta que o relé e o motor tenham constantes de tempo iguais ou que a do relé seja sensivelmente inferior à do circuito a proteger, aquecendo assim o relé, no caso de sobrecarga, mais depressa que o circuito (fig.2).

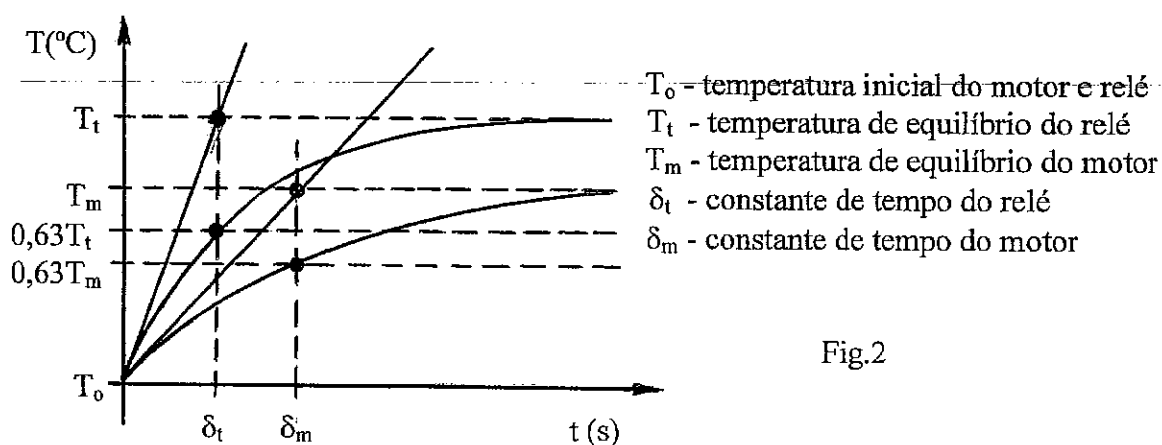


Fig.2

Para a protecção de máquinas de grande potência, a regulação do relé é por vezes feita pela regulação da constante de tempo, sendo neste caso fornecido com o relé um jogo de massas metálicas, que se podem aparafusar na lâmina, de forma a alterar a sua capacidade

calorífica, alterando-se assim a constante de tempo do relé, que será tanto maior quanto maior for a massa da lâmina.

As normas segundo as quais os equipamentos são fabricados, prescrevem valores de sobrecarga que é aconselhável não serem excedidos e impõem aos relés tempos de disparo consoante os valores das sobrecargas. Os seguintes valores, para uma temperatura ambiente de 20°C, são transcritos das Normas VDE.

Sobrecargas	Tempo de disparo do relé térmico t_d	Estado inicial do relé
$1,05 \times I_r$	$> 2 \text{ h}$	Frio
$1,20 \times I_r$	$< 2 \text{ h}$	Quente à temp. de regime
$1,50 \times I_r$	$< 2 \text{ min.}$	Quente à temp. de regime
$6,00 \times I_r$	$> 2 \text{ s}$ (característica TI)	Frio
$6,00 \times I_r$	$> 5 \text{ s}$ (característica TII)	Frio

Com base nestes valores tem-se o gráfico seguinte, no qual são representadas as características médias das bandas de dispersão dos relés, partindo do seu estado frio (temperatura ambiente 20°C).

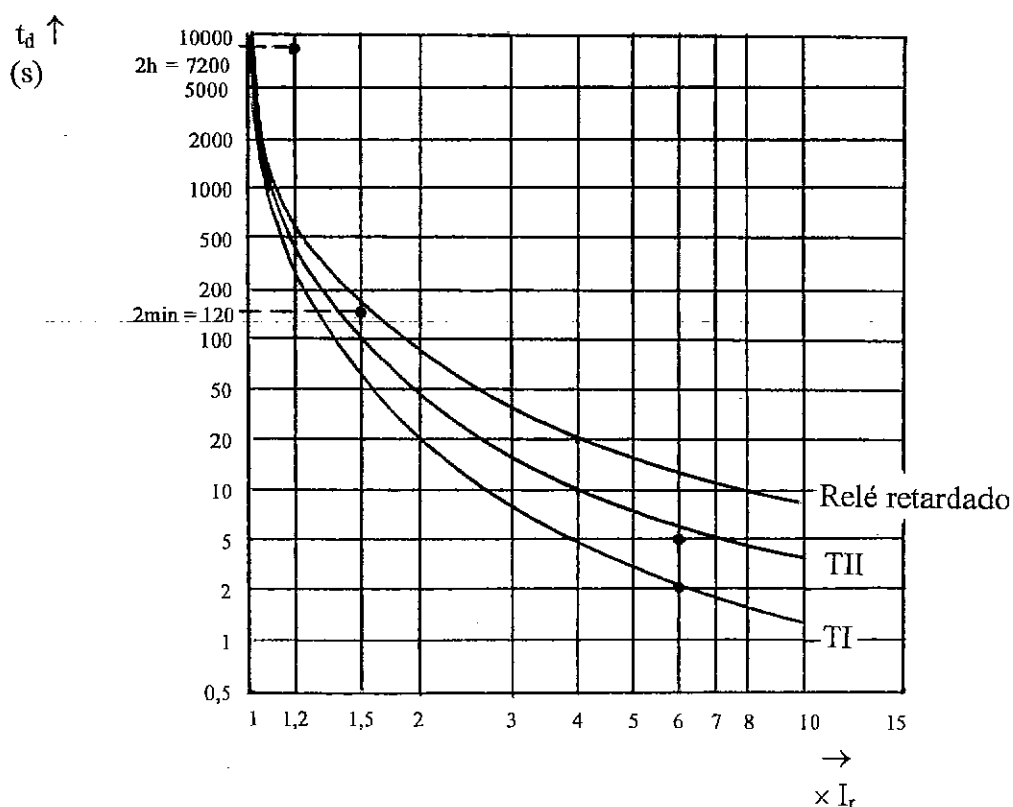
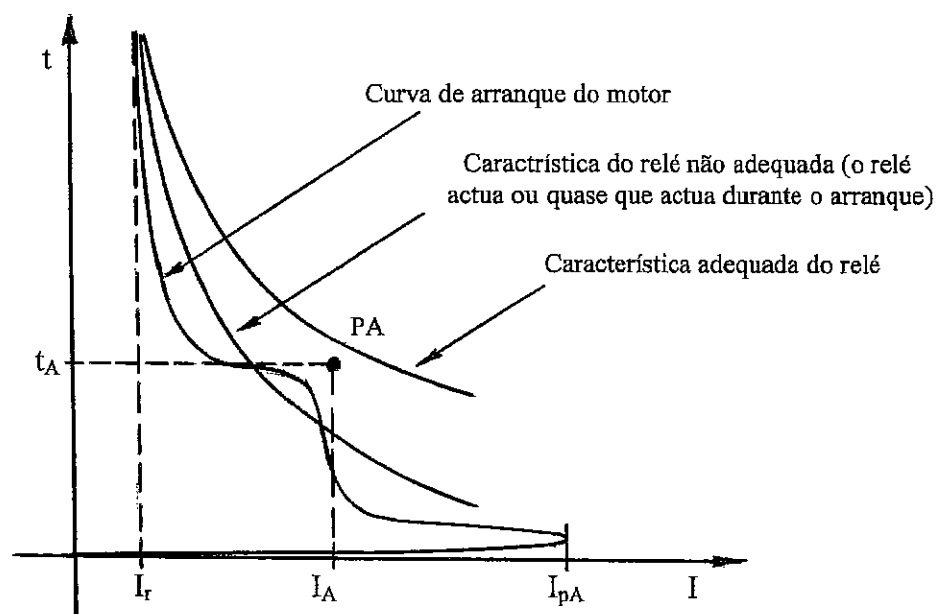


Fig.3

Observa-se que com um relé térmico a quente para uma sobrecarga de 50% o tempo de disparo deve ser menor que 2 minutos e para 20% deve ser menor que 2 h.

Quanto ao valor $6 \times I_r$ tem em vista o arranque directo dos motores.

O relé térmico deve ser escolhido de acordo com o tempo de arranque do motor, a fim de que durante o arranque ele não actue (fig.4).



I_r - Corrente de regulação do relé

I_n - Corrente nominal do motor

PA - Ponto de arranque

t_A - Tempo de arranque do motor

I_A - Corrente de arranque do motor

I_{pA} - Pico da corrente de arranque do motor

Fig.4

Para os relés térmicos há distintas características de disparo consoante a sua inércia de actuação que deverá ser tão próxima quanto possível da inércia dos motores que protegem.

A característica TII é a mais usada, sendo a indicada para os motores de média inércia, para os quais o arranque directo se verifica em menos de 5 segundos.

A característica TI é a usada para pequenos motores de reduzida inércia em que o arranque se verifica em menos de 2 segundos.

Para motores com arranques demorados usam-se por vezes os relés térmicos retardados nos quais a lâmina bimetálica é alimentada por um transformador de núcleo saturado, cuja inércia de resposta é superior à dos anteriores, originando para $6 \times I_r$ um tempo de disparo que pode atingir cerca de $t_d = 10$ a 30 segundos.

Os motores de rotor em curto-circuito, quando sem carga, arrancam numa fracção de segundo. Para que o seu tempo de arranque directo seja superior a 5 segundos, o binário resistente devido à carga aplicada terá possuir um valor apreciável.

Nos motores de rotor em curto-circuito durante o arranque, até próximo de 75% da sua velocidade nominal, a corrente absorvida é próxima da que absorveria com o rotor bloqueado. Esta corrente depois decresce até ser atingida a velocidade nominal que é cerca de 97 a 98% da velocidade de sincronismo (isto é com um escorregamento nominal de 2 a 3%).

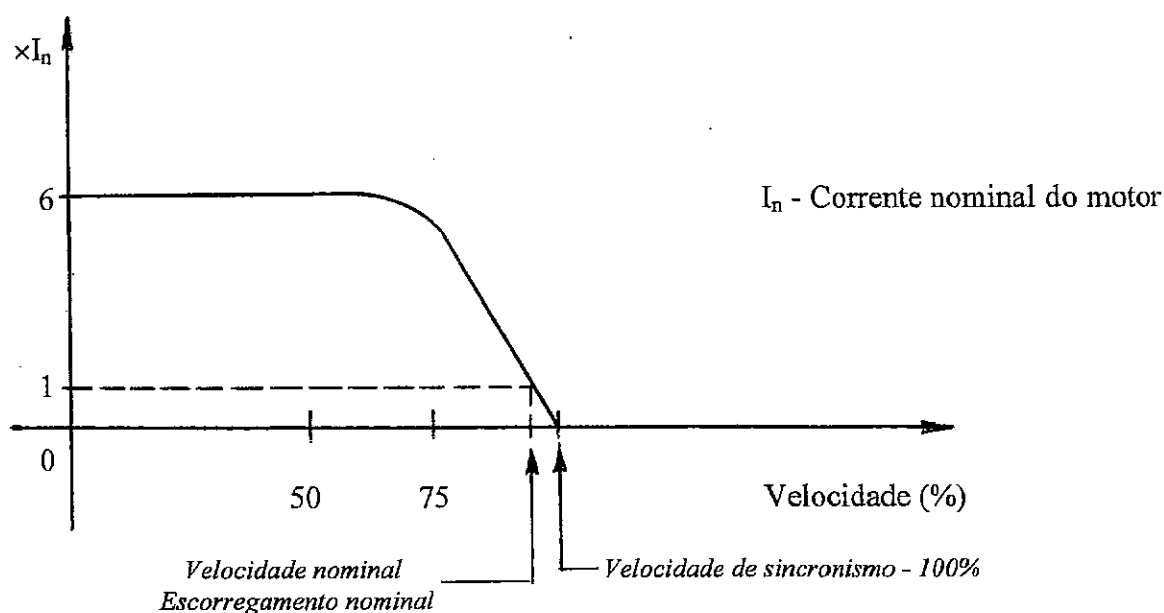


Fig.5

A corrente de rotor bloqueado é a corrente absorvida pelo motor com o seu rotor impedido de rodar. O seu valor é cerca de $6 \times I_n$, sendo I_n a corrente nominal do motor.

Nestas condições, o motor é sede de elevadas correntes induzidas, que podem originar sobreaquecimentos perigosos nos enrolamentos do estator. Neste caso, se o tempo de disparo do relé térmico for elevado, o motor poderá ser danificado.

No caso de não arranque de um motor por bloqueio do rotor, o relé térmico é a protecção adequada se o seu tempo de disparo for convenientemente escolhido.

Em BT os relés térmicos são normalmente associados a contactores, constituindo os denominados discontactores, originando a actuação do térmico, a interrupção da alimentação da bobina do contactor. O contactor abrirá então e interromperá o circuito de alimentação do motor. Os discontactores são eficazes na protecção contra grandes sobrecargas e pequenas sobrecargas de curta ou longa duração. Nestas últimas estão incluídos o abaixamento prolongado de tensão, falta de uma fase em motores trifásicos, sobrecargas sucessivas que produzam aquecimentos excessivos, etc..

2.2 - LOCALIZAÇÃO E REGULAÇÃO DOS RELÉS TÉRMICOS

2.2.1 - ARRANQUE DIRECTO DE MOTORES ASSÍNCRONOS DE ROTOR EM CURTO-CIRCUITO

2.2.1.1 - INTRODUÇÃO

De um modo geral, existem duas formas de escolher a corrente de regulação I_r de um relé térmico:

- Para a corrente nominal do motor I_n : $I_r = I_n$;
- Para a corrente de serviço do motor I_B : $I_r = I_B$.

Esta última, só se justifica se o motor que acciona uma máquina estiver sobredimensionado, pois se o motor estiver “bem dimensionado”, a diferença de regulação, por um ou outro método, será pequena. Acresce ainda que, para uma utilização fora da plena potência, o abaixamento da corrente não será proporcional à potência, em virtude da variação do $\cos\phi$.

Notar que a frase “bem dimensionado” só poderá ser tomada como verdadeira nos casos em que o acoplamento motor-máquina for rígido ou flexível (rendimento de transmissão igual ou aproximadamente igual á unidade), não sendo porém um sobredimensionamento resultante de mau dimensionamento, o que se verifica em motores com acoplamento hidráulico, cujo rendimento de transmissão é da ordem de 0,70 a 0,80.

Para o estudo da localização e dimensionamento dos relés térmicos, é ainda necessário definir o denominado factor de sobrecarga do relé térmico que é dado por:

$$F_s = \frac{\text{Corrente que percorre o relé}}{\text{Corrente de regulação do relé } (I_r)}$$

A partir do valor de F_s , que intervirá no eixo $\times I_r$ do gráfico da fig.3 ou noutro semelhante, poder-se-á estimar com alguma aproximação, o tempo de disparo t_d do relé.

2.2.1.2 - PROTECÇÃO DOS MOTORES EM ARRANQUES DIRECTOS NORMAIS

Neste caso o térmico será instalado na alimentação do motor, sendo regulado para a sua corrente nominal.

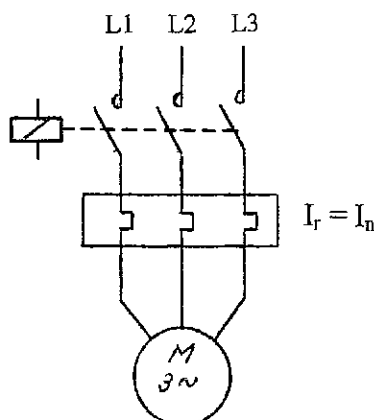


Fig.6

2.2.1.3 - PROTECÇÃO DOS MOTORES EM ARRANQUES DIRECTOS DEMORADOS

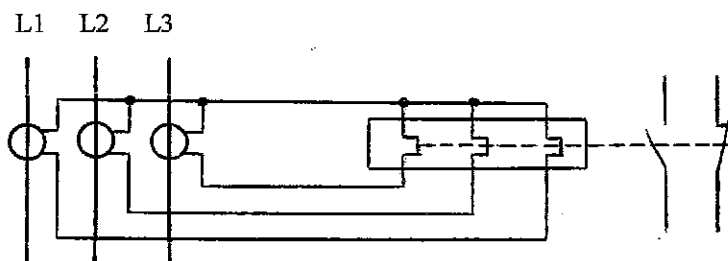
É o caso dos motores accionando máquinas que originam elevados binários resistentes (calandras, moínhos ou trituradores, mecanismos de gruas, pontes rolantes, máquinas centrífugas, grandes exaustores e ventiladores, etc.) devido à sua grande inércia.

Neste caso, se o relé térmico for aplicado como em 2.2.1.2, actuará durante o período de arranque do motor. Para o evitar, podem-se considerar várias soluções, como as que a seguir se indicam.

a) Uso de um relé térmico retardado

Regulando este relé para a corrente nominal do motor I_n , consegue-se aumentar o seu tempo de disparo até cerca de 10 a 30 segundos, uma vez que a corrente que atravessa o relé, se eleva menos que a corrente primária (a que atravessa o motor).

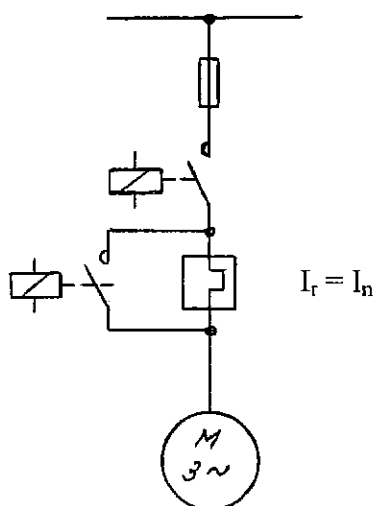
Fig.7



c) Curtocircuitagem do relé térmico durante o arranque, pelo fecho de um contactor.

Esta solução tem o inconveniente de não proteger o motor durante o arranque. A sua utilização é só aconselhável em instalações vigiadas ou naquelas em que existam dispositivos de sinalização, que alertem o pessoal ou onde existam sistemas temporizados que efectuem a desligação automática do motor se o arranque demorar mais que o tempo previsto.

Fig.8



c) Instalação de 2 contactores idênticos a ligar sucessivamentec1) Utilização de 2 relés térmicos em paralelo

Nesta solução, durante o arranque, T1 fica fora de serviço, sendo o motor protegido por T2 que se encontra inserido no circuito pela ligação de K2.

Só após se verificar a ponta de arranque é que T1 passa a proteger o motor.

A regulação de T2, deve ser tal, que a sua actuação seja rápida quando da blocagem motor.

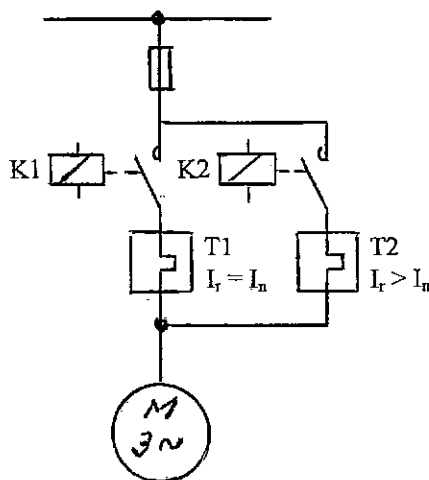


Fig.9

A escolha de I_r para que o relé não actue durante o arranque, deve ser tal, que em caso de bloqueio do motor, t_d seja inferior ou igual ao tempo de arranque, isto é $t_d \leq t_A$. I_r será ainda função da corrente de arranque I_A .

Para a aplicação da expressão de F_S , tem-se que a corrente que percorre o relé é neste caso a corrente de arranque e bloqueio. Tomando $t_d = t_A$, obtem-se pelo gráfico da fig.4 o valor de F_S no eixo $\times I_r$, vindo finalmente

$$F_S = \frac{I_A}{I_r} \Rightarrow I_r = \frac{I_A}{F_S}$$

Exemplo:

Se $I_n = 15 \text{ A}$ ($I_A = 6 \times 15 = 90 \text{ A}$) e tomarmos $t_d = t_A = 20 \text{ s}$, obtemos pelo gráfico da fig.4, para um relé térmico de núcleo saturado (retardado) $F_S \cong 4$, vindo então:

$$F_S = 4 = \frac{I_A}{I_r} = \frac{90}{I_r} \Rightarrow I_r = 22,5 \text{ A}$$

Estes relés são normalmente usados em situações de arranques demorados, sendo como se viu os seus tempos de disparo mais lentos que os do tipo TI ou TII. Os relés do tipo TII poderiam também ser usados, mas teriam que ser regulados para $I_r = 30$ A, visto que

$$\begin{aligned} & \text{Gráf. da fig.3} \\ t_d = t_A = 20 \text{ s} & \Rightarrow F_S = 3 \\ & \text{Relé TII} \end{aligned}$$

$$F_S = 3 = \frac{I_A}{I_r} = \frac{90}{I_r} \Rightarrow I_r = 30 \text{ A.}$$

c2) Utilização de um relé retardado

Neste caso, o relé térmico retardado é colocado fora de serviço pela ligação de K1, ligando K2 só depois de passada a ponta de arranque.

K1 possui duas bobinas, estando ligado a uma delas um relé temporizado.

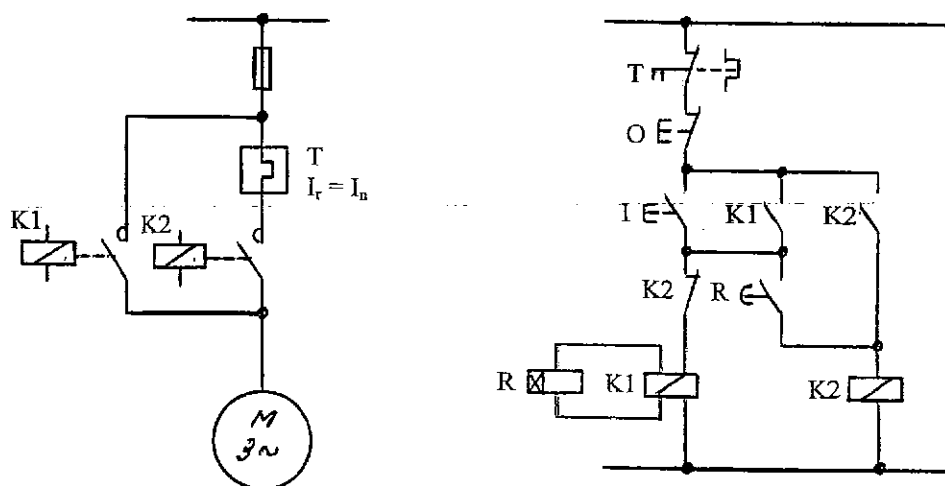


Fig.10

2.2.1.4 - MOTORES SUBMETIDOS A ARRANQUES SUCESSIVOS (SERVIÇO INTERMITENTE)

Se relé térmico estiver ajustado para a corrente nominal do motor, podem-se verificar disparos intempestivos pela sobrecarga térmica acumulada com esses arranques. Em casos como este, não se devem normalmente fazer mais do que 30 arranques por hora. Para que o número de arranques possa ser maior, o relé térmico é ajustado para uma corrente que possa permanentemente circular sem que o motor ultrapasse o seu limite de aquecimento. A regulação do térmico é então nestes casos ajustada da seguinte forma:

Factor de intermitência	Regulação do relé térmico I_r	Nº. de arranques por com tempo de arranque ≤ 1 s
15%	$0,388 \times I_n$	-
25%	$0,500 \times I_n$	100
65%	$0,650 \times I_n$	60

2.2.2 - ARRANQUE ESTRELA-TRIÂNGULO DE MOTORES ASSÍNCRONOS DE ROTOR EM CURTO-CIRCUITO

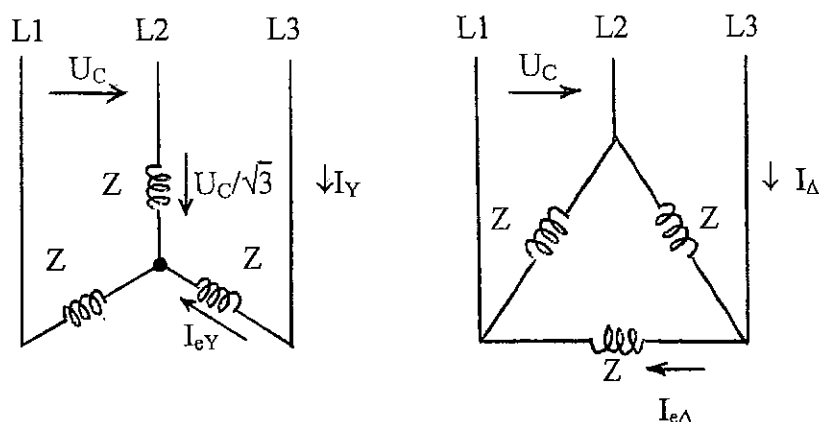
2.2.2.1 - INTRODUÇÃO

O arranque estrela-triângulo é muito utilizado em motores trifásicos de rotor em curto-circuito, tendo em vista como outros tipos de arranque, reduzir a forte corrente de chamada que durante ele se verifica. Os motores em que é aplicável este tipo de arranque têm os 6 terminais dos 3 enrolamentos do estator acessíveis na sua placa de ligações. Neste tipo de arranque num 1º. tempo o motor inicia a marcha com os enrolamentos do estator ligados em estrela e num 2º. tempo passa para a ligação correspondente ao funcionamento em regime normal, isto é, com os enrolamentos ligados em triângulo. Os enrolamentos destes motores têm então de ser previstos para trabalharem quando ligados em triângulo com a tensão composta da rede (400 V) e quando ligados em estrela com a tensão $\sqrt{3} \times 400 \approx 690$ V, daí serem estes motores normalmente referenciados como 400Δ-690Y, 400ΔV ou ainda 400DV.

O arranque estrela-triângulo é pois um arranque à tensão reduzida de 400 V (tensão da rede), uma vez que a tensão estipulada do motor em estrela é de 690 V.

A corrente absorvida pelo motor à rede (corrente na linha) na ligação em estrela é 3 vezes menor que na ligação em triângulo. Com efeito

Fig.11



$$I_{eY} = \frac{U_S}{Z} = \frac{U_C/\sqrt{3}}{Z} = I$$

$$I_{e\Delta} = \frac{U_C}{Z} = \frac{\sqrt{3} U_S}{Z} = \sqrt{3} I_{eY}$$

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{e\Delta} = \sqrt{3} (\sqrt{3} I_{eY}) = 3 I_{eY} = 3 I_Y \Rightarrow I_Y = I_{\Delta} / 3$$

Como, quando se liga o motor em estrela, a tensão a que os seus enrolamentos ficam submetidos é reduzida de $\sqrt{3}$, a corrente, e portanto também o seu binário no arranque, virão reduzidos de $1/3$, facto que se deve ter em conta na escolha do tipo de arranque a considerar para o motor.

Consideremos então as duas seguintes situações:

- Binário resistente elevado (fig.11-a)

Numa situação como esta, pode acontecer que a escolha do arranque estrela-triângulo não seja a adequada.

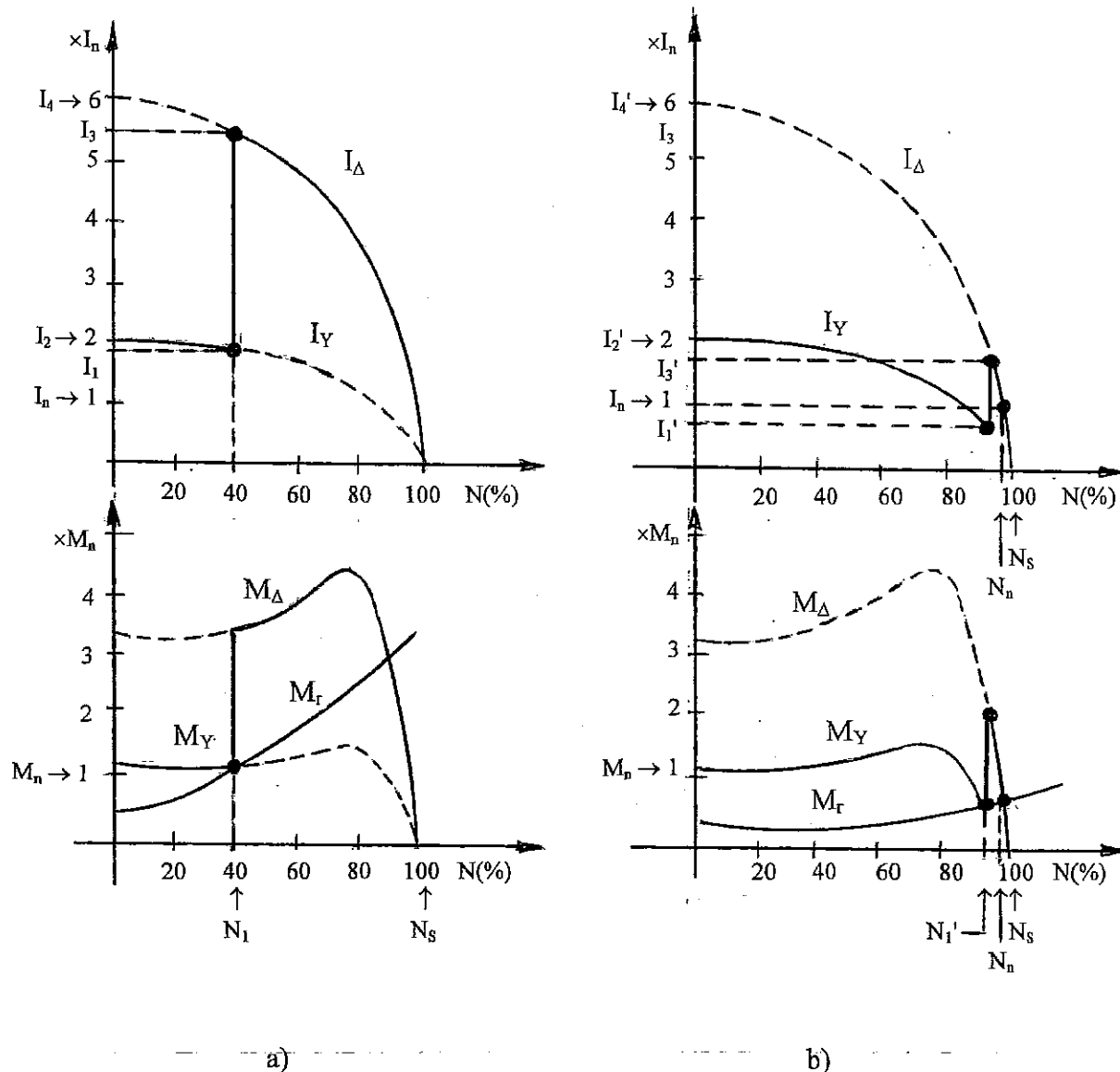
Assim, no caso do motor em estrela atingir apenas a velocidade N_1 e não uma velocidade N_2 próxima da velocidade nominal N_n , a comutação de estrela para triângulo, faz-se com uma ponta de corrente elevada (I_3), não muito menor da que se verificaria no arranque directo (I_4).

Conclui-se então, que o arranque estrela-triângulo, não é, como muitas vezes acontece, o mais indicado, para situações em que as cargas aplicadas originem binários resistentes elevados.

- Binário resistente pouco elevado (fig.11-b)

Neste caso, quando da comutação, a ponta de corrente que se verifica (I_3') nem sequer ultrapassa a ponta de arranque em estrela (I_2'), sendo a velocidade que se atinge na ligação em estrela próxima da nominal, que é como se sabe um pouco inferior à de sincronismo N_s devido ao escorregamento.

O tipo de arranque escolhido para este caso é pois o adequado para as cargas que originem binários resistentes pouco elevados.



I_Δ - Corrente em triângulo
 I_Y - Corrente em estrela
 M_Δ - Binário motor em triângulo
 M_Y - Binário motor em estrela
 M_r - Binário resistente

I_n - Corrente nominal do motor
 M_n - Binário motor nominal
 N_n - Velocidade nominal do motor
 N_s - Velocidade de sincronismo

Fig.11

Os arrancadores estrela-triângulo hoje em dia utilizados são automáticos, sendo uma combinação de contactores, que após a ligação a partir de um órgão de comando, efectuem automaticamente a comutação da ligação estrela para a triângulo com a intervenção de um temporizador.

O arranque estrela-triângulo é normalmente realizado por 3 contactores (linha, triângulo e estrela), havendo no entanto esquemas utilizando apenas 2 contactores (linha e triângulo com travessa de comutação). O tempo da comutação é assegurado por um relé temporizado ou por um bloco aditivo temporizado instalado no contactor de linha.

No que respeita à sequência da comutação, tem-se que:

a) Arranque com 3 contactores (fig.12-a)

- Arranque em estrela: contactor estrela e contactor de linha ligados;
- Quando se dá a comutação: contactor estrela desliga, contactor triângulo liga e o contactor de linha mantém-se ligado.

b) Arranque com 2 contactores (fig.12-b)

- Arranque em estrela: contactor de linha ligado e o contactor triângulo assegura a formação do neutro;
- Contactor triângulo liga, desfazendo o ponto neutro.

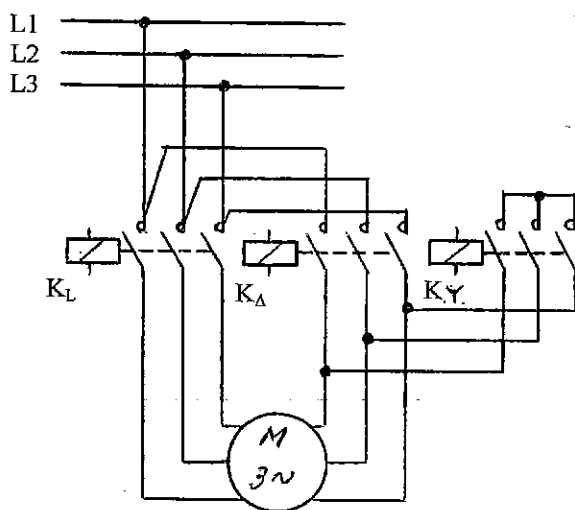


Fig.12-a

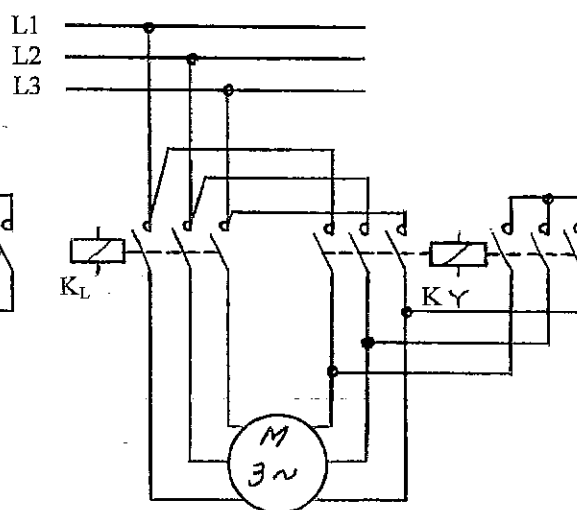


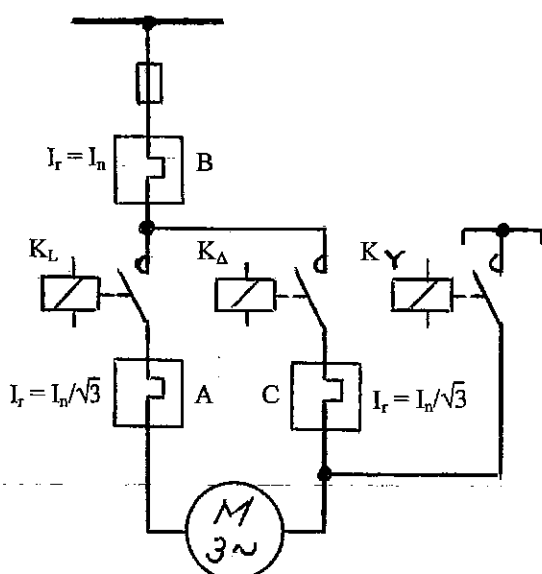
Fig.12-b

Como o fecho simultâneo dos contactores estrela e triângulo provocaria um curto-circuito, cada um deles é encravado electricamente no circuito de comando por um contacto de abertura pertencente ao outro contactor.

2.2.2.2 - PROTECÇÃO DOS MOTORES EM ARRANQUE ESTRELA-TRIÂNGULO

No arranque estrela-triângulo, são normalmente utilizados 1 ou 2 relés térmicos. Se o motor tivesse que trabalhar em marcha contínua em cada uma destas ligações, ter-se-iam de usar 2 relés, um regulado para a corrente de serviço em ligação estrela e o outro regulado para a corrente de serviço em ligação triângulo. Esses relés, seriam, um colocado, e o outro retirado de serviço, simultaneamente com a mudança de ligação dos enrolamentos. Porém, não é este o tipo de funcionamento de que se está a tratar, mas sim o de o motor arrancar com os enrolamentos ligados em estrela e, após a sua comutação para a ligação em triângulo, efectuar o seu serviço normal nessa ligação.

Nesta situação, há 3 soluções, convenientes, utilizadas na prática, estando todas elas relacionadas com a temporização da comutação, a qual é imposta pelo tipo de máquina que o motor está a accionar, (isto é, com o tipo de carga a que o motor está submetido), a qual é a responsável pelo tipo do binário resistente que lhe é aplicado. Nestas condições, o motor poderá ser levado a ter um arranque normal ou prolongado (pesado ou extremo). As 3 soluções referidas, correspondem às 3 localizações dos relés, apresentadas na fig.17, escolhendo-se normalmente uma delas.



I_n - Corrente na linha no funcionamento em triângulo.

Fig.13

Posição A: Arranques normais (temporização da comutação até ≈ 15 s)

Nesta situação o motor está protegido na ligação estrela e na ligação triângulo. Assim, mesmo que por qualquer motivo a comutação não se verifique, o motor encontra-se protegido. Com efeito, tem-se que:

- O relé actua antes da comutação (durante a ligação em triângulo)

Durante a ligação estrela, a situação mais desfavorável que se pode verificar é a de bloqueio do motor, sendo nesta situação na maioria dos casos a corrente na linha de cerca de $2 \times I_n$ (a que corresponde no arranque directo em triângulo, uma

corrente de linha 3 vezes superior, portanto $6 \times I_n$). Como o térmico está regulado para $I_n/\sqrt{3}$, a corrente que passa no relé é 3,4 vezes superior à da sua regulação, pois

$$F_s = \frac{2 \times I_n}{I_n/\sqrt{3}} = 3,4$$

O relé de característica TII, para esta situação, dispararia de acordo com a sua curva (fig.3), em $\cong 15$ s. Nesta situação, o térmico deverá actuar antes da comutação, isto é, o tempo de comutação deverá ser $> t_d$ se a máquina accionada pelo motor o permitir.

- A comutação para a ligação em triângulo, verifica-se antes do disparo do relé (o relé actua depois da comutação)

Ainda na situação de bloqueio do motor, como a corrente na linha é nesta situação $6 \times I_n$, o relé é percorrido pela corrente que atravessa os enrolamentos, isto é, $6 \times I_n/\sqrt{3}$, que é 6 vezes maior que a sua corrente de regulação, pois

$$F_s = \frac{6 \times I_n/\sqrt{3}}{I_n/\sqrt{3}} = 6$$

Se esta sobrecarga se verificasse desde o início do arranque, o tempo de disparo, seria de acordo com a característica do relé TII (fig.3) de $\cong 7$ s.

Porém, na altura da comutação, o relé já se encontra numa situação extrema de aquecimento, pois desde o arranque que estava a suportar a corrente $2 \times I_n$ (ligação em estrela), verificando-se o seu disparo para um tempo menor que $15+7$ s (soma dos 2 tempos anteriores).

- O motor arranca normalmente, mas a comutação não se faz

Esta situação equivale à marcha nominal na ligação em estrela.

O motor arrancou em estrela, a sua velocidade irá ser inferior à nominal em triângulo, correspondendo a uma corrente na linha, da ordem dos $0,85 \times I_n$, que dependerá do binário resistente. Como o relé está regulado para $I_n/\sqrt{3}$, a corrente que passa no relé é $\cong 1,47$ vezes superior à da sua regulação, pois

$$F_s = \frac{0,85 \times I_n}{I_n/\sqrt{3}} = 1,47$$

o que corresponderá para o relé de característica TII (fig.3) a um disparo em cerca de 150 s.

Posição B: Arranques pesados (temporização da comutação de $\cong 15$ a $\cong 40$ s)

Nesta situação a regulação do relé para I_n corresponde a $\sqrt{3}$ vezes a corrente admissível em cada enrolamento.

O relé fica sempre em tensão, mesmo com o motor não alimentado, a menos que se desligue o órgão de corte a montante.

Para a situação de bloqueio do motor, tem-se neste caso que:

- Durante a ligação em estrela

O relé é percorrido pela corrente na linha, isto é, por $2 \times I_n$ até à comutação, e como está regulado para I_n , a corrente que passa no relé é 2 vezes superior à da sua regulação, pois

$$F_s = \frac{2 \times I_n}{I_n} = 2$$

que corresponde a um tempo de disparo para o relé de característica TII (fig.3) de $\cong 40$ s.

Nesta situação o relé deverá actuar antes da comutação, devendo para tal, se a máquina accionada pelo motor o permitir, ser

$$\text{Tempo de comutação} > t_d$$

- A comutação para a ligação triângulo verifica-se antes do disparo do relé

O relé é neste caso percorrido pela corrente na linha, isto é, por $6 \times I_n$, e como está regulado para I_n , a corrente que passa no relé é 6 vezes superior à da sua regulação, pois

$$F_s = \frac{6 \times I_n}{I_n} = 6$$

Se esta sobrecarga se verificasse desde o início do arranque, o tempo de disparo seria $\cong 3$ s para o relé de característica TII (fig.3).

- O motor arranca normalmente, mas a comutação não se efectua

Esta situação, como vimos, equivale à marcha nominal com a ligação em estrela. O motor marcha em estrela, a sua velocidade irá ser inferior à nominal em triângulo, correspondendo a uma corrente na linha da ordem dos $0,85 \times I_n$, que dependerá do binário resistente. Como o térmico está regulado para I_n , a corrente que passa no relé é $\cong 0,85$ vezes superior à da sua regulação, pois

$$F_s \cong \frac{0,85 \times I_n}{I_n} = 0,85$$

e o relé nunca actuará como se pode observar pela característica TII da fig.3. Nesta situação a protecção do motor não está assegurada.

Para obter uma protecção conveniente contra sobrecargas, será pois necessário recorrer a um sistema de protecção que efectue o controlo do motor durante o seu arranque. É o caso do sistema visto na fig.9, que considera 2 relés térmicos em paralelo, ficando assim o relé da posição B em paralelo com outro. Porém, este tipo de arranque, será normalmente vigiado, sendo necessário o uso adicional de um dos seguintes sistemas:

- Dispositivos de sinalização que alertem o pessoal;
- Dispositivos temporizados que desliguem automaticamente o motor.

Posição C: Arranques extremos (temporização da comutação acima de $\cong 40$ s)

Neste caso tem-se que:

- O relé é percorrido na ligação em triângulo pela corrente de cada enrolamento;
- O motor não está protegido na ligação em estrela, pois nesta situação o relé não é percorrido por corrente, motivo pelo qual o seu arranque terá de ser vigiado;
- O relé fica sempre em tensão, mesmo com o motor desligado, a menos que se ligue o órgão de corte a montante.

As posições para a instalação dos relés e sistemas antes vistos, são os normalmente escolhidos. No entanto, se a comutação for difícil de vigiar, podem-se ter de usar soluções mais dispendiosas, como uma das duas seguintes, utilizadas no caso de temporizações de comutação iguais, superiores ou um pouco inferiores a 40 s:

- Um relé na posição A e outro na posição C
 - O relé em A protege o motor durante o arranque, assegurando a sua protecção no caso de bloqueio inicial ou de se não se efectuar a comutação.
É regulado para um valor um pouco superior a $I_n/\sqrt{3}$. O seu disparo deve ser imediato e estar de acordo com a temporização da comutação.
 - O relé em C protege o motor durante o seu funcionamento normal em triângulo e será regulado para $I_n/\sqrt{3}$.
- Um relé de núcleo saturado em A

O relé é regulado para $I_n/\sqrt{3}$, como no caso da temporização da

comutação até 15 s com relé normal.

Notar que, se a colocação considerada para o relé fosse em B regulado para I_n , no caso da comutação não se realizar, o motor não estaria protegido na ligação em estrela.

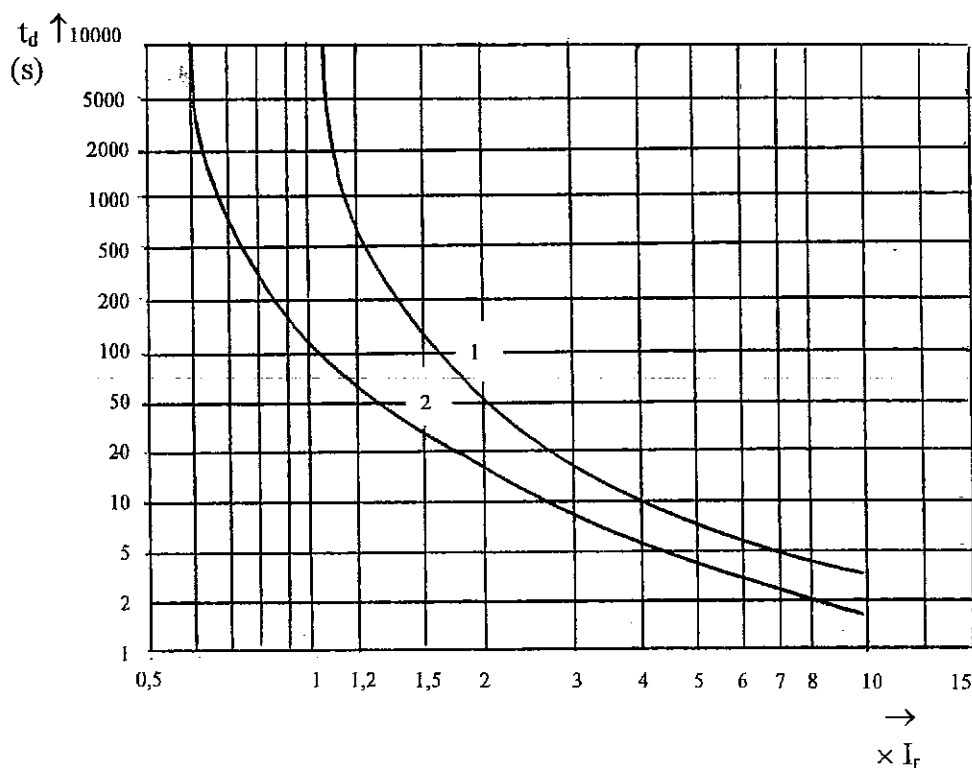
2.3 - RELÉS TÉRMICOS DIFERENCIAIS

Asseguram, além da protecção contra sobrecargas, o disparo por falta de uma fase.

A falta de uma fase, pode ser originada pela actuação de um fusível. Uma situação como esta, poderá ocorrer no caso de não serem utilizados fusíveis com percutor, que ao fundirem provocam a abertura de um contacto no circuito de comando, interrompendo a alimentação da bobina do contactor, que efectuará o corte omnipolar da alimentação do motor.

Com falta de uma fase, o motor continua a absorver sensivelmente a mesma potência, com uma velocidade não muito diferente, trabalhando num regime de sobrecarga que poderá na ligação em triângulo ocasionar a actuação excessivamente tardia de um relé térmico normal e consequentes danos no motor.

Na fig.14, apresentam-se as características tipo de um relé térmico, correspondentes à sua actuação em funcionamento com 3 fases e com falta de uma fase ou diferencial.



1 - Característica média do relé para o funcionamento em 3 fases

2 - Característica média do relé para o funcionamento em 2 fases (característica diferencial)

Fig.14

Exemplo do princípio de funcionamento de um relé térmico diferencial:

- Relé em estado frio (fig.15)

- 1- Bimetal com bobina
- 2- Barra de alongamento
- 3- Barra de retenção
- 4- Braço de accionamento
- 5- Mola de contacto
- 6- Bimetálico de regulação e compensação
- 7- Parafuso de ajuste para a regulação do relé e do bimetálico de regulação e compensação, que pelo facto de ser bimetálico compensa automaticamente o aquecimento ambiente por ter o mesmo sentido de encurvamento.

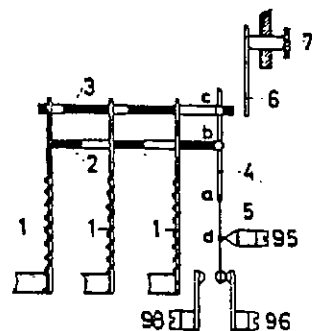


Fig.15

- Relé à temperatura de trabalho (fig.16)

Quando submetidos a uma carga os 3 bimetálicos principais encurvam-se devido ao aquecimento das bobinas ao serem percorridas pelas correntes de carga originando a deslocação da barra de alongamento (2) para a direita e girando o braço de accionamento sobre o ponto (a). O braço de accionamento (4) é rígido e está suspenso pelos 3 pontos (a), (b) e (c). Se o ponto (b) se move para a direita, o ponto (c) e a barra de retenção (3) movem-se também para a direita.

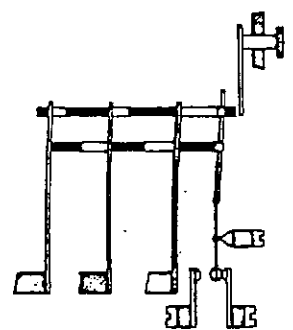


Fig.16

- Relé quando de sobrecarga trifásica (fig.17)

Quando a barra de retenção (3) chega até ao bimetálico de regulação (6), o centro de rotação do braço de accionamento move-se de (a) a (c). O ponto (a) ao se mover para a direita acciona a mola de contactos, e os contactos 95-96 abrem e os 95-98 fecham.

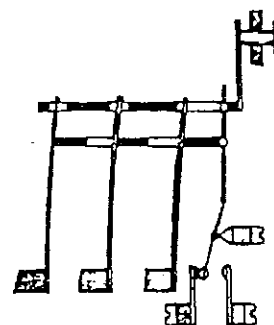


Fig.17

- Relé quando do funcionamento sobre duas fases (fig.18)

O bimetálico principal da fase afectada mantém-se sem encurvar, arrastando consigo para a esquerda a barra de retenção (o que equivale a fixar o ponto (c)), sendo então o braço de accionamento obrigado a rodar em torno do ponto (c), que funcionará como eixo de rotação. Verifica-se que as barras de alongamento e de retenção para este defeito, terão que percorrer um caminho menor que no caso da sobrecarga trifásica, para a qual teriam de chegar até ao bimetálico de compensação. Assim no caso do funcionamento sobre duas fases os disparos são mais rápidos.

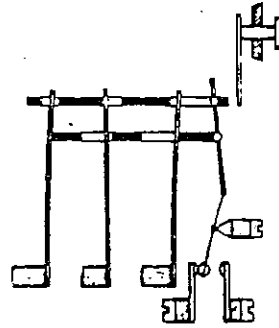


Fig.18

Análise do funcionamento sobre duas fases, nos motores com o estator ligado em estrela e em triângulo:

a) Ligação em estrela

Na ligação em estrela o relé “vê” a mesma sobrecarga que os enrolamentos do motor. Nesta ligação, a falta de uma fase origina uma sobrecarga nas outras duas fases para as quais os relés normais actuam, não se justificando que a protecção seja assegurada por relés térmicos diferenciais.

Exemplo:

Se tivermos

$$I_1 = I_2 = I_3 = 1 \text{ A (Funcionamento normal)}$$

$$I_1 = I_3 = 2 \text{ A (Funcionamento em 2 fases)}$$

Funcionamento normal

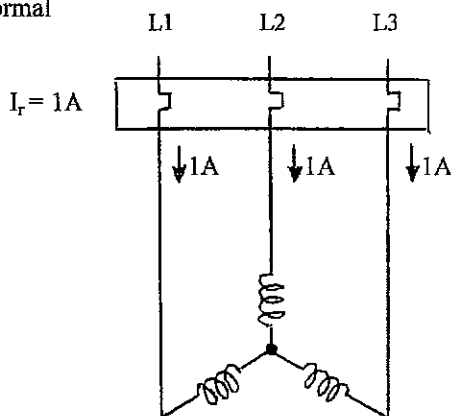


Fig.19

Funcionamento em 2 fases

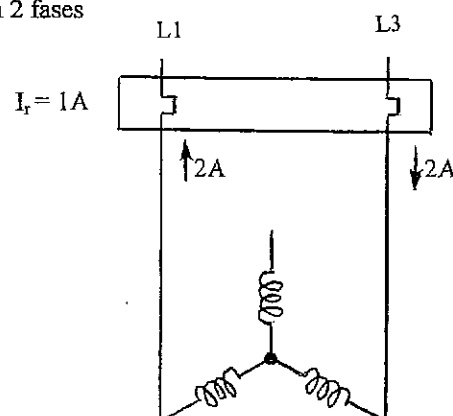


Fig.20

O factor de sobrecarga será então

$$F_s = \frac{\text{Corrente no relé}}{\text{Regulação do relé}} = \frac{2}{1} = 2$$

Segundo a sua característica de funcionamento em 3 fases para $F_s I_r = 2 \times 1 = 2$ o relé actuará em ≈ 55 s.

b) Ligação em triângulo

Na ligação em triângulo a corrente em cada enrolamento é $\sqrt{3}$ vezes menor que a corrente na linha.

Nesta ligação, a falta de uma fase origina uma distribuição de corrente tal, que o enrolamento mais carregado (o ligado entre as 2 fases sãs) é percorrido por uma corrente igual a $2/3$ da corrente na linha, ficando assim na situação de sobrecarga. Com efeito, como

Funcionamento
em 2 fases

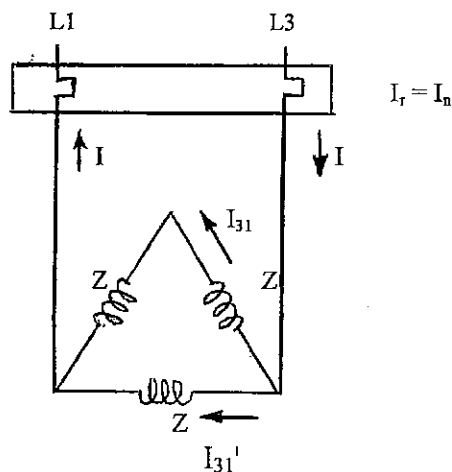


Fig.21

$$U_C = 2 Z I_{31} = Z I_{31}'$$

$$U_C = \frac{2 Z Z}{2 Z + Z} \cdot I = \frac{2 Z^2}{3 Z} \cdot I = \frac{2}{3} Z I$$

virá

$$2 Z I_{31} = \frac{2}{3} Z I \Rightarrow I_{31} = \frac{1}{3} I$$

$$Z I_{31}' = \frac{2}{3} \cdot Z I \Rightarrow I_{31}' = \frac{2}{3} \cdot I$$

Exemplo:

Se tivermos

$$I_1 = I_2 = I_3 = 1 \text{ A (Funcionamento normal)}$$

e

$$I_1 = I_3 = 2 \text{ A (Funcionamento em 2 fases)}$$

Funcionamento
normal

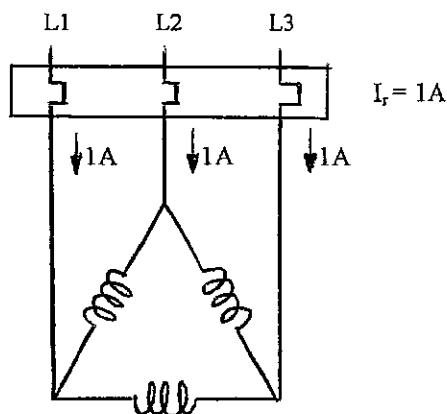


Fig.22

Funcionamento
em 2 fases

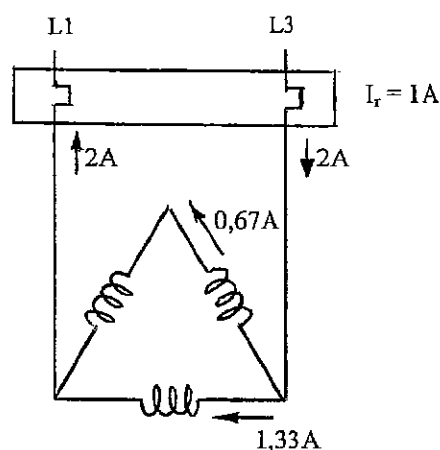


Fig.23

De acordo com a característica de funcionamento em 2 fases do relé conclui-se que o motor deve ser desligado o mais tardar ≈ 34 s após o início da sobrecarga ($2 \times I/3 = 2 \times 2/3 = 1,33 \text{ A} \Rightarrow t \approx 34 \text{ s}$).

Com um relé térmico normal, dado o factor de carga ser

$$F_S = \frac{\text{Corrente no relé}}{\text{Regulação do relé}} = \frac{2}{1} = 2$$

essa desligação verificar-se-ia de acordo com a característica de funcionamento em 3 fases do relé para $F_S I_r = 2 \times 1 = 2$ pela sua actuação em $\approx 55 \text{ s}$.

Na protecção dos motores na ligação em triângulo contra a falta de uma fase, o relé térmico deve ter, como neste exemplo os 34 s fazem supor, um tempo de actuação muito curto, portanto bastante inferior aos 55 s que se obtinham com o relé térmico normal.

Se o relé térmico diferencial tiver uma gama de regulação $0,85 - 1,3 I_n$, como o factor de sobrecarga no caso do funcionamento em 2 fases é definido por

$$F_s = \frac{\text{Corrente no relé}}{\text{Regulação máxima do relé}}$$

ele será

$$F_s = \frac{2}{1,3 \times I_n} = \frac{2}{1,3 \times 1} = 1,54$$

actuando de acordo com a sua característica diferencial para $F_s I_r = 1,54 \times 1 = 1,54$ em ≈ 30 s, portanto menos 4 s que o tempo crítico de 34 s antes visto.

Se o motor ligado em estrela fosse protegido por este relé, no caso de falta de uma fase ele actuaria também em 30 s com a sua regulação máxima.

2.4 - REARMAMENTO DE RELÉS TÉRMICOS

Quanto ao seu rearmamento, os relés térmicos podem ser de 2 tipos:

- Com bloqueio de rearmamento (fig.24)

São os normalmente utilizados na protecção de motores. Dão ordem de abertura ao contactor, ocasionando a paragem do motor quando de uma sobrecarga ou falta de fase.

O seu rearmamento faz-se por actuação no botão de rearme existente no próprio relé ou então no quadro, sendo só após este se fazer, possível ligar o contactor.

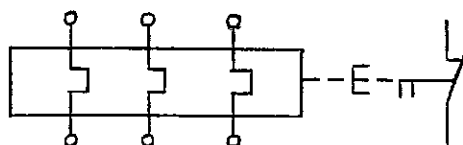


Fig.24

- Sem bloqueio de rearmamento (fig.25)

Nestes, o contacto de abertura fecha-se por si próprio após o disparo, logo que arrefeça a lâmina bimetálica.

Estes relés não devem ser usados no caso de comandos em que a ligação é feita por contacto permanente.

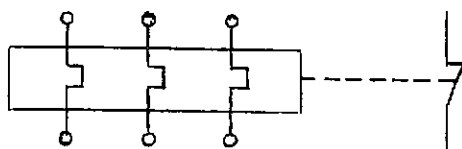


Fig.25

Nos 2 tipos de rearmamento, o contacto de abertura pode ser substituído por um contacto de inversão, a fim de permitir uma sinalização de disparo ou o accionamento de outros comandos (fig.26).

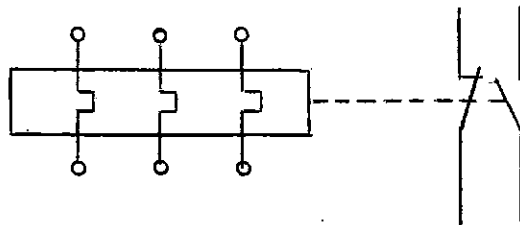


Fig.26

2.5 - RELÉS ELECTROMAGNÉTICOS

Em lugar dos relés térmicos, podem-se usar relés electromagnéticos de máxima de tempo dependente, na protecção contra sobrecargas.

Estes relés possuem sistemas que lhes conferem curvas semelhantes às dos relés térmicos, sendo por isso também adequados à protecção contra sobrecargas. É o caso por exemplo dos relés electromagnéticos com "dashpot", os quais possuem por cada fase um cilindro com óleo e um êmbolo. Com cada relé deste tipo podem-se obter várias curvas, pela maior ou menor obturação de orifícios existentes nos cilindros que diminuem ou aumentam os tempos de actuação dos relés.

Estes relés, tal como os relés térmicos, podem ser associados a contactores, constituindo também discontactores.

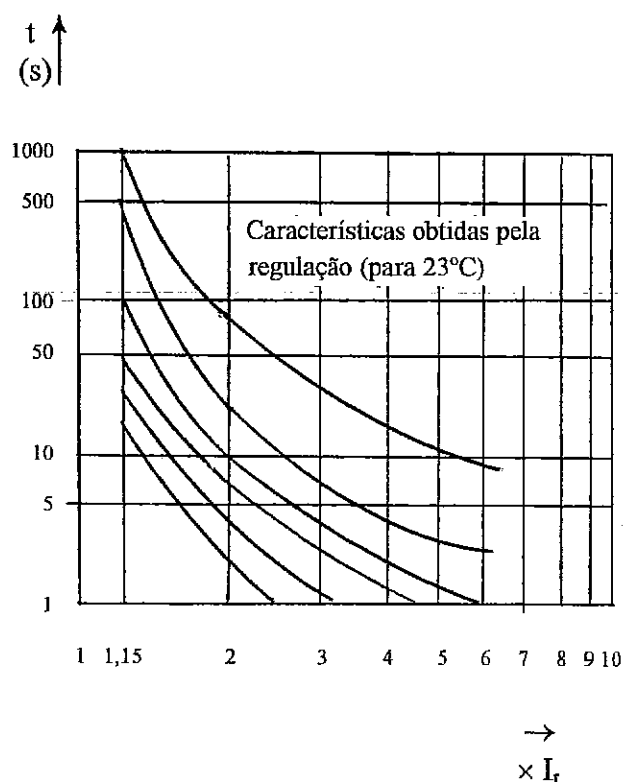


Fig.27

3- PROTECÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS

3.1 - FUSÍVEIS

A protecção de motores não pode ser feita exclusivamente por fusíveis, devido a vários motivos, de entre os quais se destacam os a seguir mencionados.

- O afastamento entre os vários calibres de fusíveis normalizados, que não permite uma coordenação correcta das protecções dos motores.
- Para pequenas sobrecargas os seus tempos de fusão são elevados.
- A corrente de arranque, que para os motores de rotor em curto-circuito pode atingir em arranque directo 4 a $8 \times I_n$, originaria na maioria dos casos a sua fusão intempestiva. Para que tal não se verificasse, teriam de se instalar fusíveis de calibres suficientemente elevados, que não actuariam para pequenas sobrecargas da ordem de 1,4 a $1,8 \times I_n$, que são já fatais para os enrolamentos do motor, para não mencionar as sobrecargas ainda mais baixas, que poderão não ter más consequências imediatas, mas contribuir para o encurtamento da vida útil do motor.
- Podem, como se viu, se não tiverem percursor, motivar por actuação de um dos fusíveis, o funcionamento do motor sobre duas fases.

Como vantagens, os fusíveis apresentam as que nomeadamente a seguir se indicam.

- Elevado poder de corte.
- Baixo custo.
- Boa protecção dos motores contra curto-circuitos, bem como dos relés térmicos e contactores.
- Razoável protecção contra sobrecargas elevadas e de grande duração.

Os fusíveis normalmente usados na protecção de motores são os da classe aM, tendo-se neste caso de considerar outros dispositivos com vista à protecção contra sobrecargas. Os fusíveis aM têm grande poder limitador, mas não actuam para grandes sobrecargas de curta duração, como as devidas ao arranque dos motores de rotor em curto-circuito. Outros tipos de fusíveis, como os da classe gI e gG, poderão ser usados na protecção contra curto-circuitos ou grandes sobrecargas de motores, desde que os seus calibres sejam devidamente escolhidos. Estes fusíveis são normalmente mais económicos, mas

têm menor poder limitador que os aM. A sua instalação, complementada com a de relés térmicos, pode também constituir uma razoável protecção para os motores.

Os fabricantes de relés térmicos, indicam normalmente o calibre máximo dos fusíveis a utilizar com os relés. Os fusíveis nunca deverão fundir para a corrente de arranque dos motores, nem mesmo na situação de rotor bloqueado, para a qual deverá ser o relé térmico a actuar e não os fusíveis.

Os valores indicados para os fusíveis, pelo fabricante dos relés térmicos, não deverão ser excedidos, sob pena dos relés ou os contactores ficarem em perigo.

3.2 - RELÉS ELECTROMAGNÉTICOS

Em vez dos fusíveis, poderão ser usados relé electromagnéticos de temporização independente ou instantâneos.

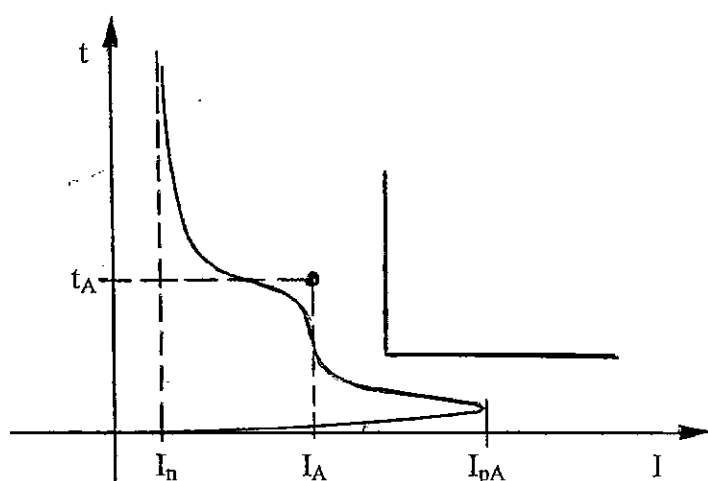


Fig.28

4 - SONDAS OU APALPADORES TÉRMICOS

A protecção dos motores com os 3 elementos mencionados (fusíveis, contactores e relés térmicos) nem sempre é considerada suficiente. Com efeito, os relés térmicos não são uma protecção adequada em situações de aquecimento lento, como são os casos de

- sobrecargas intermitentes;
- obstrução ao arrefecimento do motor;
- temperaturas ambientes altas.

Assim, em motores de potências elevadas como é o caso dos motores de MT, para os quais, devido ao seu elevado custo, vale a pena investir em protecções, são bastante

usadas as sondas ou apalpadores térmicos. São na maior parte dos casos em platina, instaladas no interior dos enrolamentos do motor, geralmente durante a sua bobinagem.

Este sistema porém, não é eficaz em situações de aquecimento rápido, como acontece nos casos de rotor bloqueado e de curto-circuito parcial nos enrolamentos, pois as sondas térmicas têm uma elevada constante de tempo, acompanhando por isso lentamente a temperatura dos enrolamentos, sendo nestes casos o relé térmico o indicado.

Por outro lado, para motores trabalhando em regimes de carga rapidamente variáveis (cargas intermitentes), o relé térmico confere uma protecção muito imperfeita, sendo neste caso aconselháveis as sondas térmicas, pois com estas consegue-se uma imagem térmica bastante mais perfeita do que se passa no motor. Com efeito, os sucessivos aquecimentos e arrefecimentos devidos a esse tipo de cargas, processam-se com constantes de tempo distintas, verificando-se um aquecimento lento no motor, a que o relé térmico, que apresenta uma constante de tempo única, não é sensível. Com sondas térmicas de resposta rápida, que vigiam directamente a temperatura dos enrolamentos, a protecção do motor fica nestes casos perfeitamente assegurada.

Os inconvenientes das sondas térmicas são os seguintes:

- necessitam de ser instaladas durante a fabricação do motor;
- não são uma protecção económica para motores de pequena potência;
- a sua montagem é difícil, pois obriga à instalação de cabos suplementares com o motor;
- substituição impossível, pois um incidente obrigaria à rebobinagem do motor;
- reacção lenta a fortes sobrecargas;
- rearmamento automático inevitável, a não ser que se considerem esquemas adequados no exterior ou o rearmamento manual do disparador.

Quadro comparativo das aplicações das sondas térmicas e relés térmicos:

Situação		Sondas térmicas	Relés térmicos
Aquecimento lento	Sobrecarga contínua	+	+
	Abaixamento de tensão	+	+
	Arranque lento	+	+
	Sobrecarga intermitente	+	+ (*)
	Temperatura ambiente alta	+	+ (*)
	Obstrução ao arrefecimento	+	-
Aquecimento rápido	Rotor bloqueado	+ (**)	+
	Curto-circuito parcial nos enrolamentos	+ (**)	+

+ Protecção assegurada

+ (*) Protecção conseguida, mas muito imperfeitamente, na impossibilidade de se realizar uma imagem térmica perfeita.

+ (**) Protecção praticamente ineficaz devido à elevada constante de tempo da sonda.

- Não se consegue a protecção

5 - PROTECÇÕES E SISTEMAS DE COMANDO

5.1 - SOLUÇÕES DE PROTECÇÃO E COMANDO

Solução A : Disjuntor-motor com disparador magnético fixo e disparador térmico regulável

É aplicada nos circuitos de alimentação de motores trifásicos até poucas dezenas de kW quando não há necessidade de comando automático e à distância, sendo o comando feito no próprio disjuntor-motor. Incluem a função de seccionador, assegurando na posição de abertura dos seus contactos móveis a necessária distância de isolamento e a indicação visível dessa posição. Tem a vantagem de ser uma solução económica e compacta.

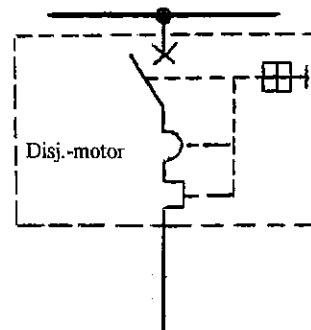


Fig.29

Solução B : Contactor-disjuntor com disparador magnético fixo ou regulável e disparador térmico regulável

É aplicada nos circuitos de alimentação de motores trifásicos até poucas dezenas de kW quando há ou não há necessidade de comando automático e à distância ou se pretende instalar o contactor-disjuntor junto à máquina, sendo neste último caso o comando feito no próprio contactor-disjuntor. Incluem a função de seccionador e a indicação da posição dos seus contactos móveis. Tem a vantagem de ser uma solução compacta, sendo o contactor-disjuntor, um disjuntor limitador de elevado p.d.c..

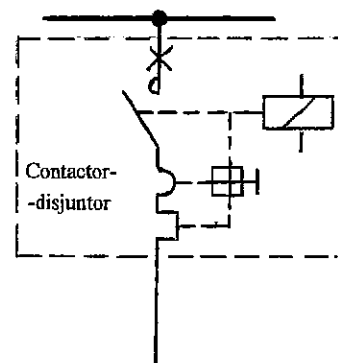


Fig.30

Solução C : Solução A com contactor

Esta solução permite o comando automático e à distância, não sendo porém tão económica, nem tão compacta como as anteriores, o que pode levar a ponderar na utilização da solução D.

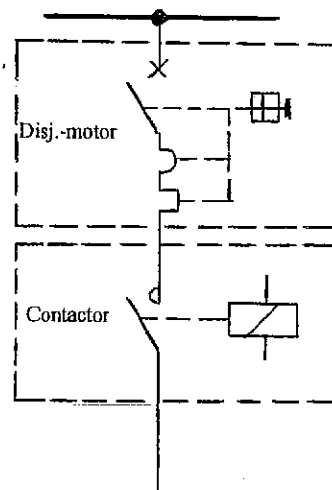


Fig.31

Solução D: Fusíveis + discontactor com relés térmicos

É muito usada nos circuitos de alimentação de motores trifásicos desde as baixas até às elevadas potências, para as quais não há disjuntores-motor ou contactores-disjuntores aplicáveis.

Os fusíveis poderão ser instalados em seccionadores ou interruptores porta-fusíveis. A solução com seccionadores porta-fusíveis é a mais usada, porque além de ser económica é suficiente.

O seccionador tem como missão isolar o circuito em vazio e dar a indicação dessa situação pela abertura dos seus contactos.

O contactor assegura as manobras de corte.

Esta solução tem relação à solução C, as seguintes desvantagens

- ocupa mais espaço;
- necessidade de substituição de fusíveis quando estes actuem.

Como vantagens enumeram-se as seguintes:

- mais económica;
- pode ser usado até potências elevadas, para as quais existem todos os equipamentos necessários à sua constituição.

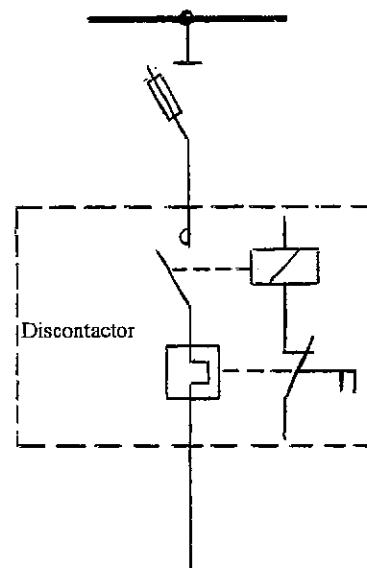


Fig.32

Solução E : Disjuntor-motor só com disparador magnético + discontactor com relés térmicos

A única diferença relativamente à solução D, reside no emprego do disjuntor-motor com disparador magnético em lugar dos fusíveis, evitando-se a desvantagem da necessidade de substituição de fusíveis após a sua actuação.

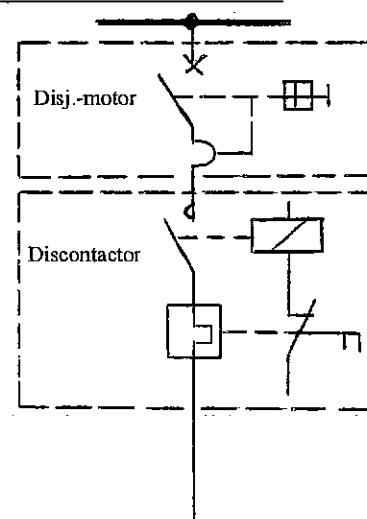


Fig.33

5.2 - LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE PROTECÇÃO E DE COMANDO

Para as soluções vistas anteriormente, tem-se que:

Soluções A e B :

O disjuntor é instalado no Quadro ou junto à máquina.

Solução C :

Podem-se verificar duas situações:

- Disjuntor e contactor no Quadro, sendo o comando feito no disjuntor ou em botoneira no Quadro ou junto à máquina;
- Disjuntor no Quadro e contactor junto à máquina, podendo o comando ser feito no disjuntor ou em botoneira junto à máquina.

Solução D :

Podem-se verificar as seguintes situações:

- Fusíveis instalados no Quadro e discontactor com térmico instalado de origem na máquina, sendo o comando feito por botoneira na máquina, como é por o caso de máquinas ferramentas;
- Fusíveis no Quadro e discontactor com térmico junto à máquina em caixa instalada na parede ou sobre pedestal, sendo o comando feito por botoneira junto à máquina, eventualmente instalada na caixa do discontactor;
- Fusíveis e discontactor com térmico no Quadro e comando feito por botoneira no Quadro e/ou junto à máquina.

É a solução usada em máquinas envolvidas em processos de fabrico, em que as sequências de arranque e paragem das várias máquinas e os automatismos a elas afectos, têm estar centralizados no Quadro.

Solução E :

Podem-se verificar duas situações:

- Disjuntor e discontactor com térmico no Quadro, podendo o comando ser feito no disjuntor ou em botoneira instalada no Quadro ou junto à máquina;
- Disjuntor no Quadro e discontactor com térmico junto à máquina em caixa instalada na parede ou em pedestal, podendo o comando ser feito no disjuntor ou em botoneira junto à máquina, eventualmente localizada na caixa do discontactor.

5.3 - ARRANQUES APÓS PARAGEM POR FALTA DE TENSÃO

No que respeita ao comando de máquinas, há ainda, de um modo geral duas situações:

- Máquinas em que não há perigo, se após uma paragem por falta de tensão, recomeçarem automaticamente a funcionar quando a tensão regressa.

Estão neste caso, as máquinas em que não existem peças móveis ao alcance de pessoas ou em que o seu inesperado arranque não crie problemas de fabrico ou exploração.

Neste caso, poderão ser usados para o comando, os próprios interruptores ou disjuntores, ou contactores sem contacto de retenção no seu circuito de comando, comandados por botoneiras de posições fixas de arranque e paragem.

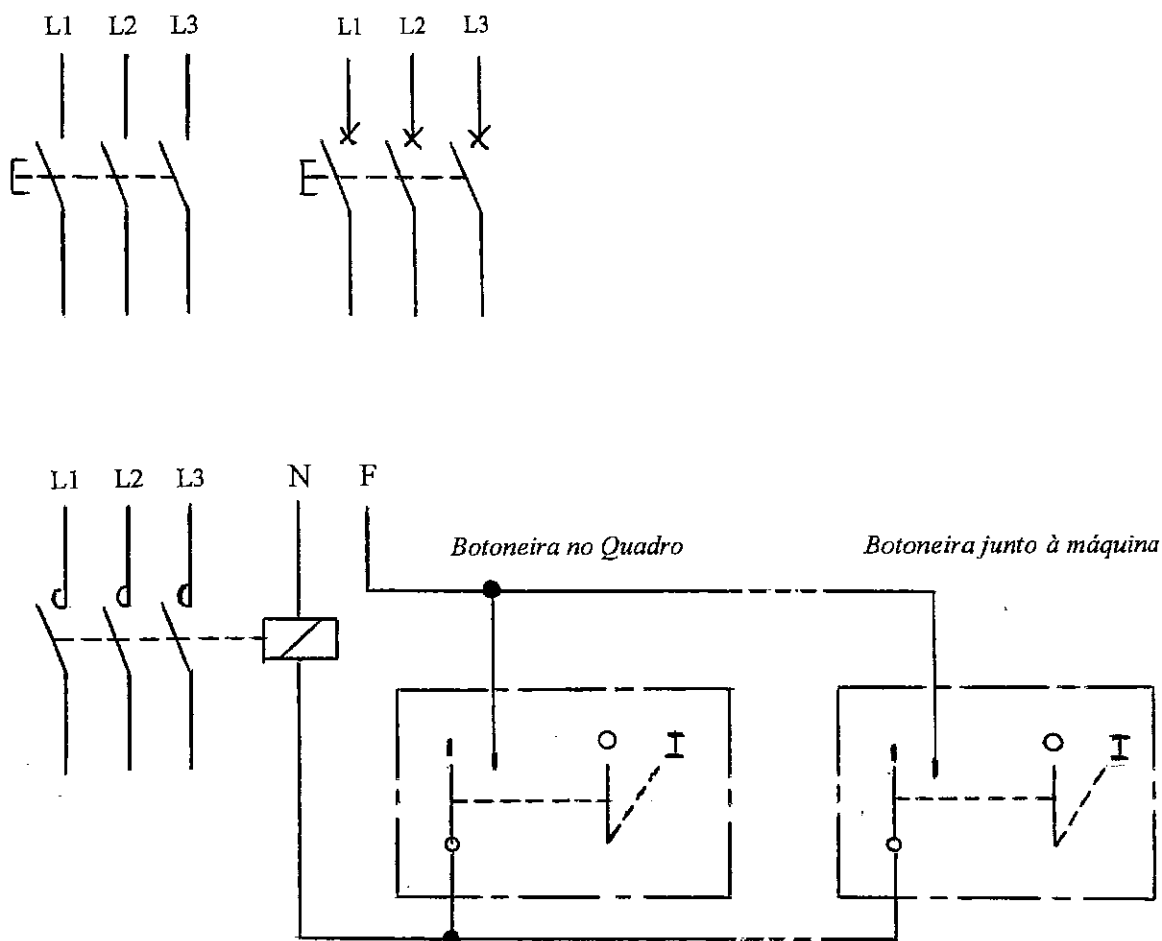


Fig.34

- Máquinas em que há perigo, se após uma paragem por falta de tensão, recommencarem automaticamente a funcionar quando a tensão regressa.

Estão neste caso, as máquinas ferramentas, e, de um modo geral, máquinas com peças móveis ao alcance de pessoas ou em que o seu arranque inesperado possa provocar problemas de fabrico ou exploração.

Neste caso, poderão ser usados para o comando, interruptores ou disjuntores com bobina de disparo por falta de tensão, ou como vulgarmente se usa, contactores com contacto de retenção instalado no seu circuito de comando, comandados por botoneiras de simples impulso de arranque e paragem.

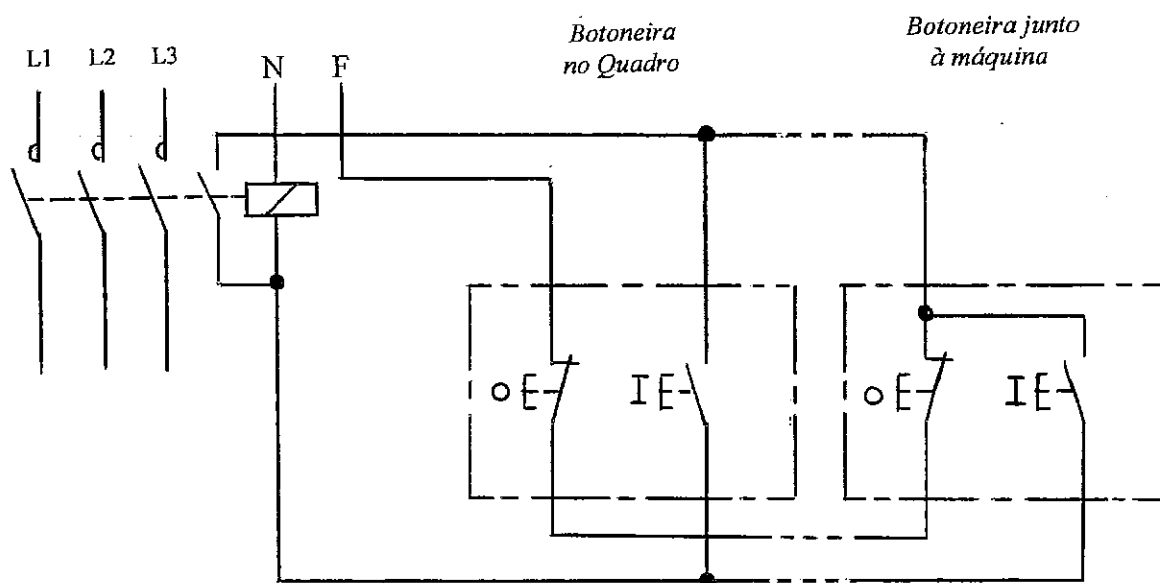
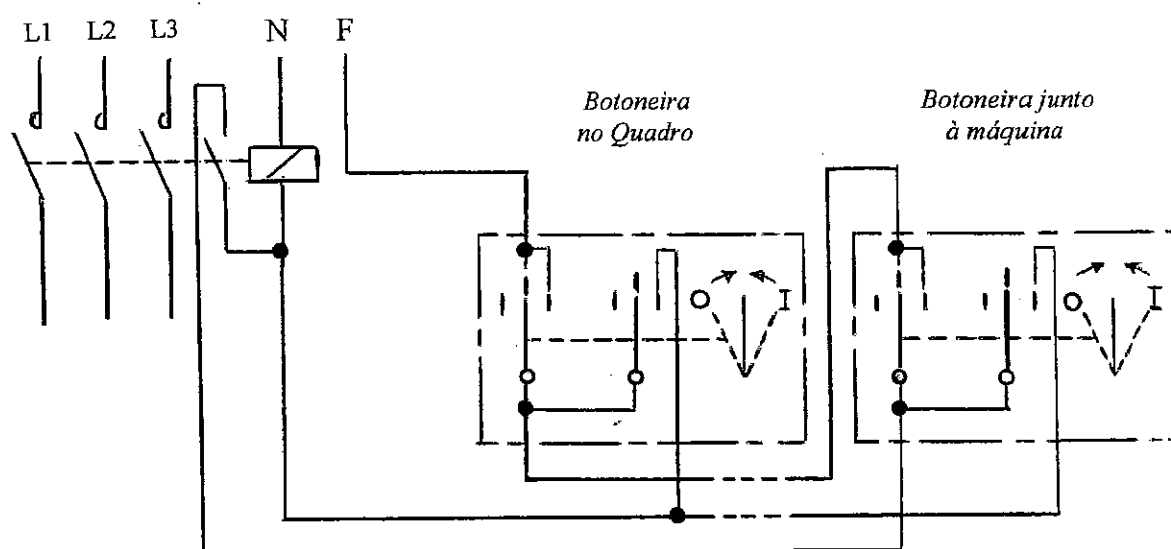
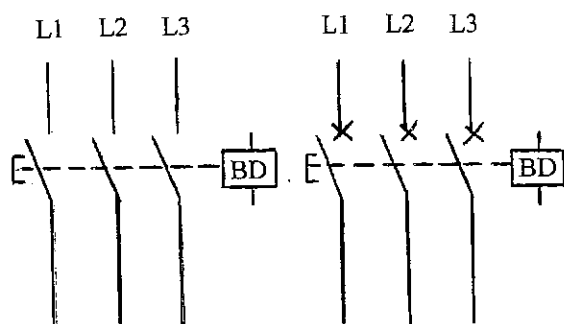


Fig.35

6 - COORDENAÇÃO DAS PROTECÇÕES

O posicionamento relativo das curvas características das várias protecções e de arranque do motor deverá ser o apresentado na fig.36.

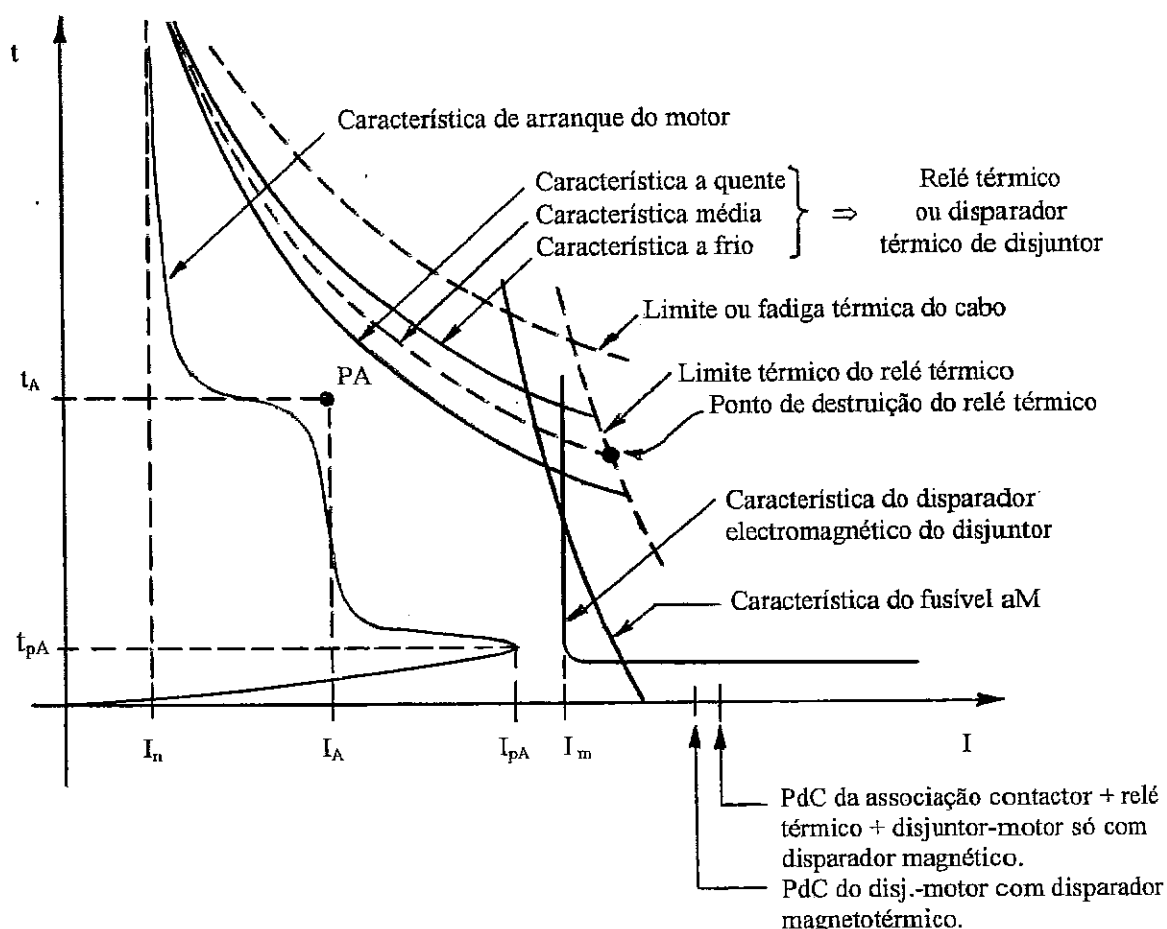


Fig.36

- O ponto de arranque PA deve-se situar à esquerda da característica $I(t)$ da protecção contra curto-circuitos (fusíveis aM ou disparador electromagnético de disjuntor-motor) para que esta não actue quando do arranque do motor. Para obtenção de PA, à falta de outros valores, podem-se tomar com base nas Normas VDE, os a seguir apresentados.

Arranque directo	$I_A = 6 \times I_n$	$t_A \leq 5 \text{ s}$
Arranque estrela-triângulo normal	$I_A = 2 \times I_n$	$t_A \leq 15 \text{ s}$
Arranque estrela-triângulo pesado	$I_A = 2 \times I_n$	$15 < t_A \leq 40 \text{ s}$
Arranque estrela-triângulo extremo	$I_A = 2 \times I_n$	$t_A > 40 \text{ s}$

Nos disjuntores-motor o seu disparador electromagnético tem normalmente uma corrente de funcionamento $I_m \geq 12 \times I_n$ para que não ocorra o seu disparo quando se verifica a ponta de arranque, que no caso do directo é da ordem de $I_{pA} = (8 \text{ a } 12) \times I_n$.

- No caso da protecção contra curto-circuitos ser assegurada por disjuntor-motor só com disparador electromagnético ou fusíveis aM, o limite térmico do relé térmico deve-se situar à direita da corrente de funcionamento do disparador electromagnético I_m do disjuntor ou da característica $I(t)$ do fusível aM.

- No caso da protecção contra curto-circuitos e sobrecargas ser assegurada por um disjuntor-motor magnetotérmico, a verificação anterior não é necessária, visto os respectivos disparadores electromagnético e térmico estarem por construção já coordenados.

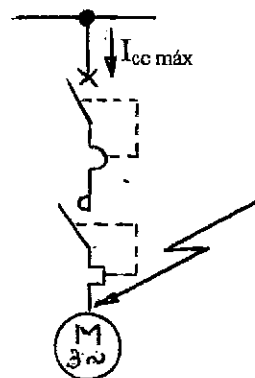
- No caso da protecção contra sobrecargas ser assegurada por contactor + relé térmico e contra curto-circuitos por disjuntor-motor só com disparador electromagnético deverá ser

$$PdC (\text{contactor}) > I_m (\text{disjuntor})$$

. Se o disjuntor-motor e o contactor + relé térmico estiverem juntos (Fig.37), o PdC a considerar será o da associação disjuntor-motor + contactor, devendo ser

$$PdC (\text{disjuntor} + \text{contactor}) \geq I_{cc \text{ máx}}$$

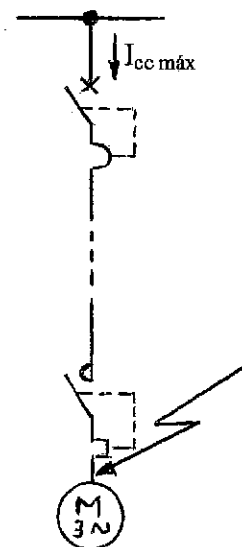
Fig.37



. Se o disjuntor-motor e o contactor + relé térmico estiverem ligados por uma canalização (Fig.38), o PdC será o do disjuntor-motor, devendo ser

$$PdC (\text{disjuntor}) \geq I_{cc \text{ máx}}$$

Fig.38



7 - CÁLCULO DE CANALIZAÇÕES E PROTECÇÕES EM CIRCUITOS DE ALIMENTAÇÃO DE MOTORES

7.1 - MOTORES DE ARRANQUE RÁPIDO E PEQUENA CADÊNCIA DE ARRANQUE

Exemplo de aplicação:

Motor trifásico de 4 kW $\Rightarrow I_n = 9,4 \text{ A}$

Arranque directo

Corrente de arranque $\Rightarrow I_A = 6 \times 9,4 = 56,4 \text{ A}$

Cabo de alimentação: PTN05VV-U ao ar em prateleira com circulação de ar, junto a 2 cabos multicondutores, temperatura ambiente 30°C.

a) Relé térmico de protecção contra sobrecargas

$I_n = 9,4 \text{ A} \Rightarrow I_r = I_n = 9,4 \text{ A}$

Utilizando a tabela com as gamas de regulação de relés térmicos apresentada no final deste capítulo, escolhe-se o de gama 7-10 A (que engloba o valor da corrente estipulada do motor I_n) e de acordo com os valores das tabelas do catálogo da CEL CAT, Cabos de Energia, edição de 1996, efectuam-se os cálculos a seguir apresentados.

Cabo PT-N05VV-U ao ar \Rightarrow Tabela 3.3, coluna 3 \Rightarrow Factores de correcção F_3 e F_4 .

Cabo isolado a PVC ao ar, temperatura ambiente 30°C \Rightarrow Tabela 3.21, coluna 7 $\Rightarrow F_3 = 1$.

3 cabos (3 sistemas adjacentes) multicondutores em prateleira com circulação de ar \Rightarrow Tabela 3.23, coluna 3 $\Rightarrow F_4 = 0,8$.

$$I_2 = 1,3 I_r \quad I_2 \leq 1,45 I_Z \quad I_Z = F_3 \cdot F_4 \cdot I_{tab} \quad \Rightarrow \quad I_{tab} \geq \frac{I_r}{1,12 \cdot F_3 \cdot F_4} \Rightarrow I_{tab} \geq \frac{9,4}{1,12 \times 1 \times 0,8} \Rightarrow I_{tab} \geq 10,5 \text{ A}$$

Tabela 3.3, coluna 3 $\Rightarrow I_{tab} = 25 \text{ A} \Rightarrow$ PT-N05VV-U 4G2,5

$$I_Z = 1 \times 0,8 \times 25 = 20 \text{ A}$$

A secção de $1,5 \text{ mm}^2$ era suficiente, mas a mínima regulamentar para força motriz é $2,5 \text{ mm}^2$, motivo pelo qual foi esta a escolhida.

b) Fusível aM de protecção contra curto-circuitos

- Ponto de arranque para ($I_A = 56,4 \text{ A}$; $t_A = 5 \text{ s}$).

Representando este ponto sobre as características dos fusíveis aM apresentadas

no final deste capítulo, dado que ele deve estar à esquerda da característica do fusível, conclui-se que, sob este aspecto serve qualquer fusível de

$$I_n \geq 10 \text{ A.}$$

- A característica do fusível deve ficar à esquerda do ponto de destruição do relé térmico.

Como não existe característica do relé térmico para a corrente de regulação (9,4A), esta obtém-se por aproximação a partir de características do tipo de relé considerado fornecidas pelo fabricante, de que são exemplo as apresentadas no final deste capítulo.

Sobrepondo a curva obtida às características dos fusíveis (fig.39), conclui-se que as características dos fusíveis que se situam à esquerda do ponto de destruição do relé térmico são as correspondentes aos fusíveis de $I_n \leq 16 \text{ A}$.

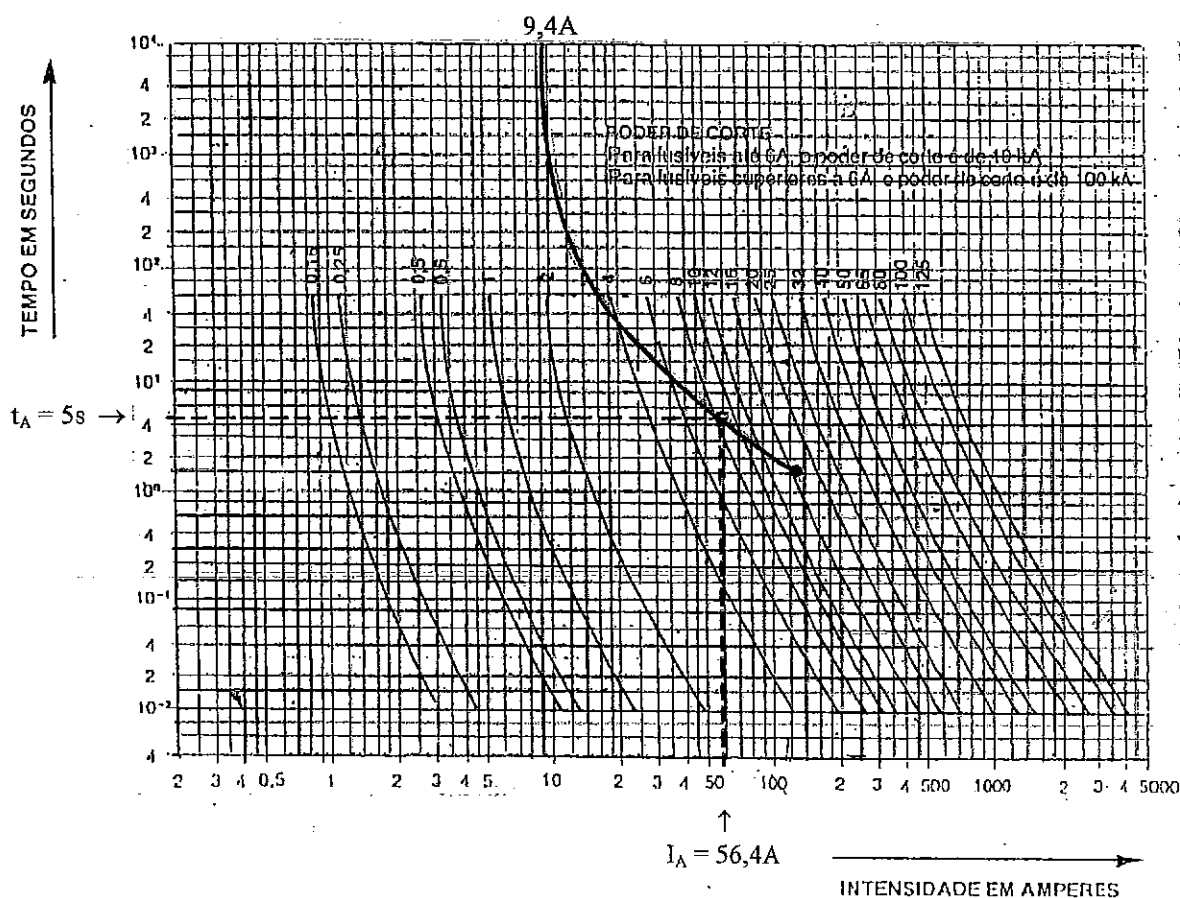


Fig.39

Destas 3 verificações, resultam neste caso, 3 calibres possíveis de fusíveis aM:

$$I_n = 10; 12; 16 \text{ A.}$$

Vamos optar pelos fusíveis aM de $I_n = 12 \text{ A}$.

Note-se que é frequente os fabricantes de relés térmicos, tendo em conta as características mais comuns dos motores, indicarem os tipos de relés e fusíveis a associar que conduzem a uma melhor coordenação das protecções.

c) Cálculo da canalização à q.d.t. em regime normal

$$\left. \begin{array}{l} s = 2,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Cobre} \\ \cos\varphi = 0,8 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} z = 6,9 \text{ } \Omega/\text{km} \\ (\text{Capítulo III, Quadro VI}) \end{array}$$

Comprimento do circuito: $\ell = 10 \text{ m}$

$$\Delta U = 0,435 z \cdot \ell I \times 10^{-3} = 0,435 \times 6,9 \times 10 \times 9,4 \times 10^{-3} = 0,3\% < 5\% \quad \text{Correcto}$$

d) Cálculo da canalização à q.d.t. no arranque

$$\left. \begin{array}{l} s = 2,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Cobre} \\ \cos\varphi = 0,3 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} z = 2,7 \text{ } \Omega/\text{km} \\ (\text{Capítulo III, Quadro VI}) \end{array}$$

$$\Delta U = 0,435 \times 2,7 \times 10 \times 56,4 \times 10^{-3} = 0,7\% < 10\% \quad \text{Correcto}$$

e) Verificação se o fusível, também protege o cabo de alimentação contra os efeitos térmicos dos curto-circuitos

Como a protecção contra curto-circuitos está num aparelho separado do da protecção contra sobrecargas, há que fazer, como se referiu no capítulo III, esta verificação.

Se a corrente de curto-circuito mínima calculada (neste caso, a que se verifica para um curto-circuito fase-fase aos terminais do motor) for por exemplo

$$I_{cc\min} = 1530 \text{ A}$$

o tempo máximo que o curto-circuito pode durar, sem que o cabo se danifique por acção dos esforços térmicos dele resultante, será

$$t = \left(k \frac{s}{I_{cc\min}} \right)^2 = \left(113 \times \frac{2,5}{1530} \right)^2 = 0,034 \text{ s}$$

O tempo de actuação dos fusíveis é:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fusível aM de } I_n = 12 \text{ A} \\ I_{cc\min} = 1530 \text{ A} \end{array} \right\} \Rightarrow t_c \ll 0,01 \text{ s}$$

Como deve ser $t_c < t$, o que é respeitado, visto ser $0,01 < 0,034$ s, conclui-se que os fusíveis protegem também o cabo de alimentação contra os efeitos térmicos do curto-circuito.

7.2 - MOTORES DE ARRANQUE LENTO OU COM GRANDE CADÊNCIA DE ARRANQUE

Se o motor do exemplo anterior fosse submetido a arranques lentos ou sucessivos, na determinação da secção dos condutores ao aquecimento em regime normal, devia-se ter em consideração a corrente de arranque, vindo então

$$I_n + \frac{I_A}{3} = 9,4 + \frac{56,4}{3} = 28,2 \text{ A}$$

A verificação de que a secção calculada para os condutores da canalização está protegida pelo relé térmico durante o funcionamento do motor é desnecessária dado ser

$$I_n + \frac{I_A}{3} > I_r$$

Para as protecções deviam-se ter em conta as observações feitas para estes tipos de trabalho (2.2.1.3, 2.2.1.4, 2.2.2.2 e 4) e para o tipo de arranque escolhido.

A verificação de que a secção escolhida para o cabo de alimentação, estava protegida pelo relé térmico durante o funcionamento do motor, como

$$I_n + \frac{I_A}{3} > I_r \quad \dots \quad I_r - \text{Corrente de regulação do relé térmico}$$

tornava-se desnecessária. Assim, se determinarmos a secção do cabo para a alimentação do motor submetido a este tipo de trabalho, virá:

$$I_{\text{tab}} \geq \frac{28,2}{F_3 \times F_4} \Rightarrow I_{\text{tab}} \geq \frac{28,2}{1 \times 0,8} \Rightarrow I_{\text{tab}} \geq 35,3 \text{ A}$$

Pela Tabela 3.3, coluna 3, do catálogo da CEL CAT antes referido, conclui-se que o cabo será o seguinte:

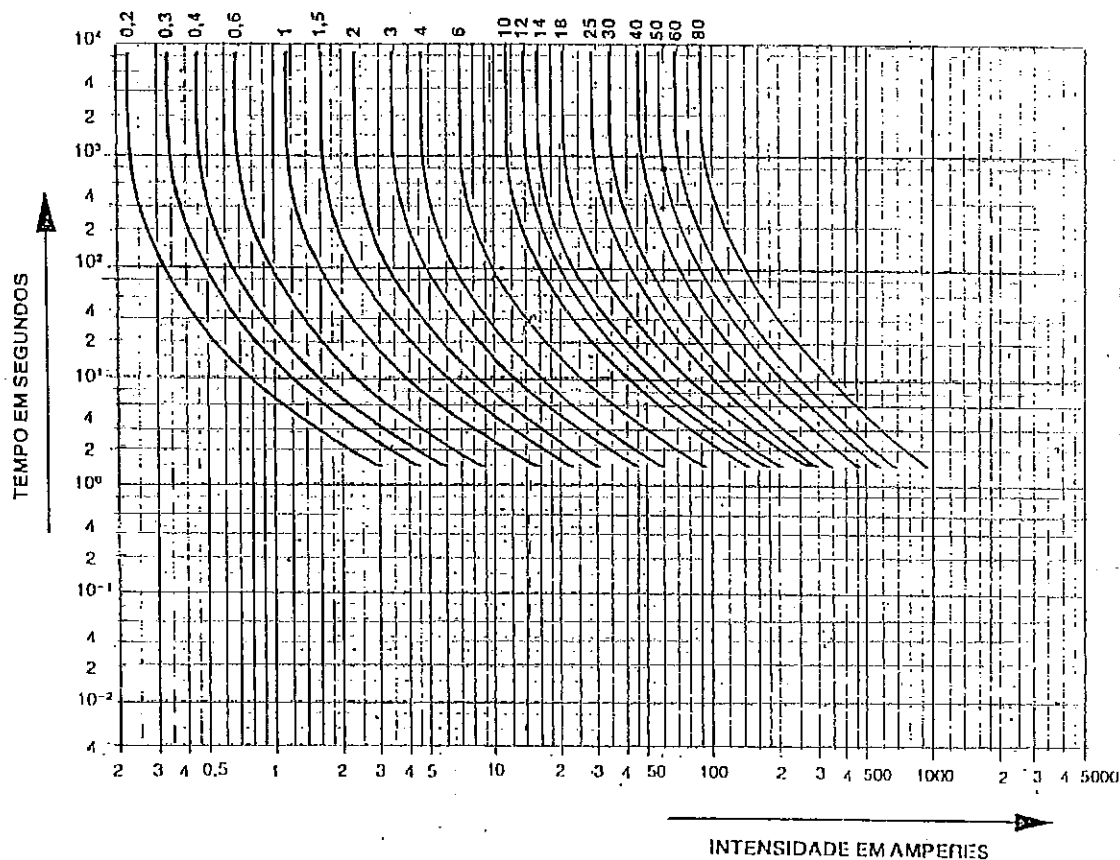
$$\text{PT-N05VV-U4G6} \quad (I_Z = 1 \times 0,8 \times 41 = 32,8 \text{ A})$$

\uparrow
 I_{tab}

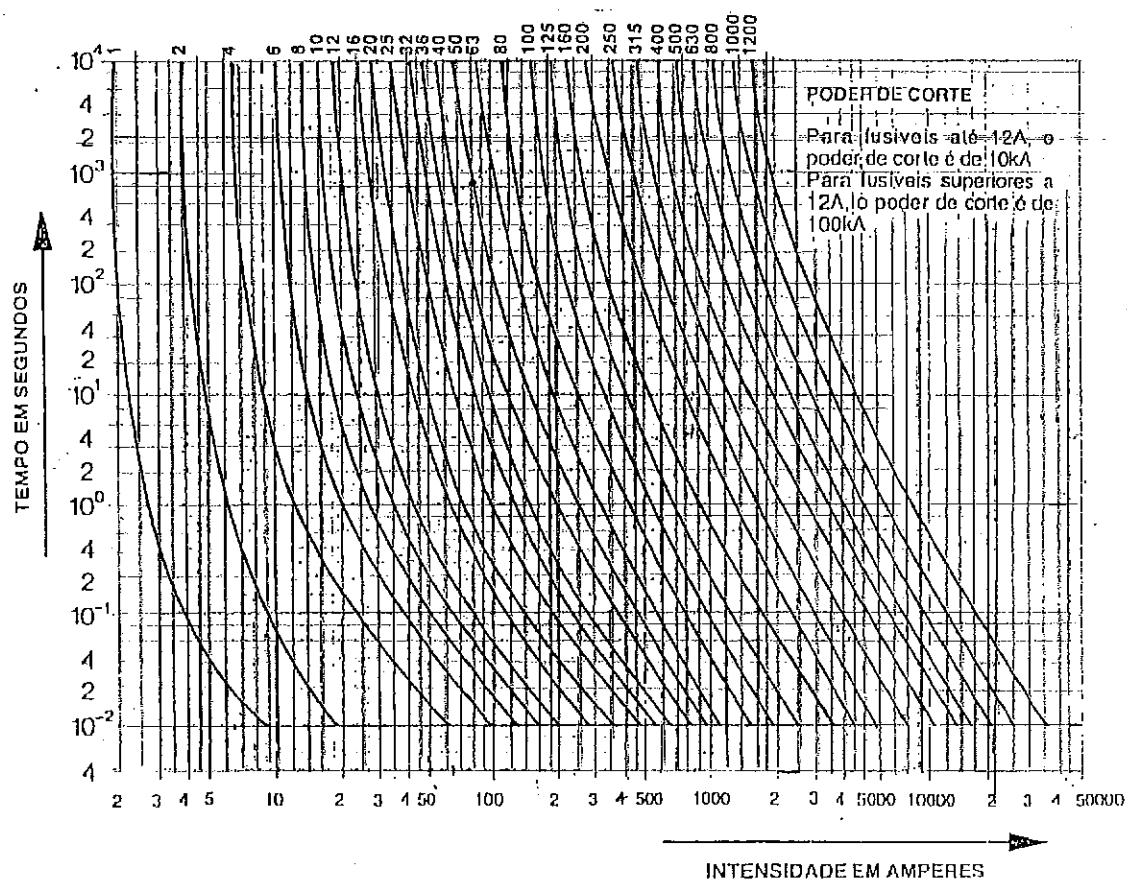
8 - GRÁFICOS E TABELAS TIPO DE RELÉS TÉRMICOS E FUSÍVEISRELÉS TÉRMICOS TRIPOLARES TELEMECANIQUE
E FUSÍVEIS aM, gI ou gG ASSOCIADOS

Gama de regulação do relé térmico	Fusíveis a associar	
	aM	gI ou gG
I_r (A)	I_n (A)	
0,10 – 0,16	0,25	-
0,16 – 0,25	0,50	-
0,25 – 0,40	1	2
0,40 – 0,63	1	2
0,63 – 1	2	4
1 – 1,60	2	4
1,60 – 2,50	4	6
2,50 – 4	6	10
4 – 6	8	16
5,50 – 8	12	20
7 – 10	12	20
10 – 13	16	25
13 – 18	20	35
18 – 25	25	50
23 – 32	40	63
30 – 40	40	80
38 – 50	63	100
48 – 57	63	100
57 – 66	63	100
66 – 80	80	125

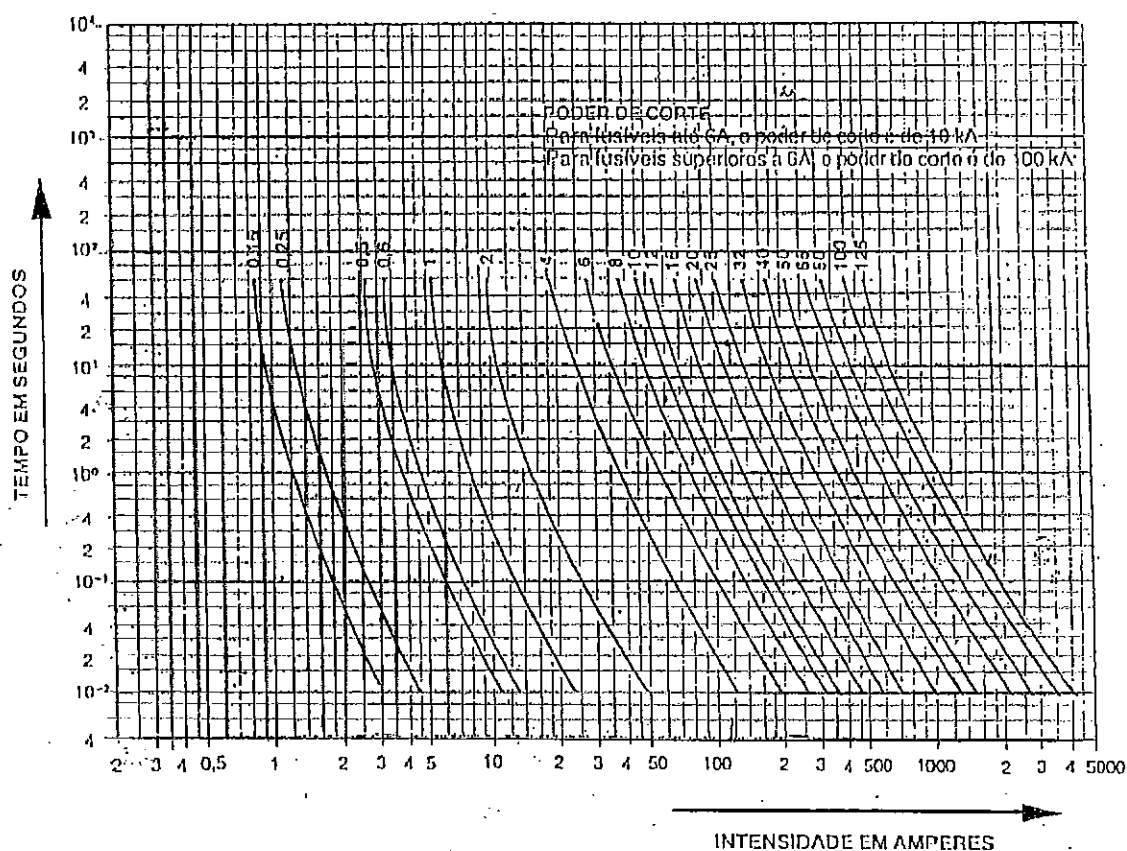
RELÉS TÉRMICOS DE 0,2 A 80 A (TELEMECANIQUE)



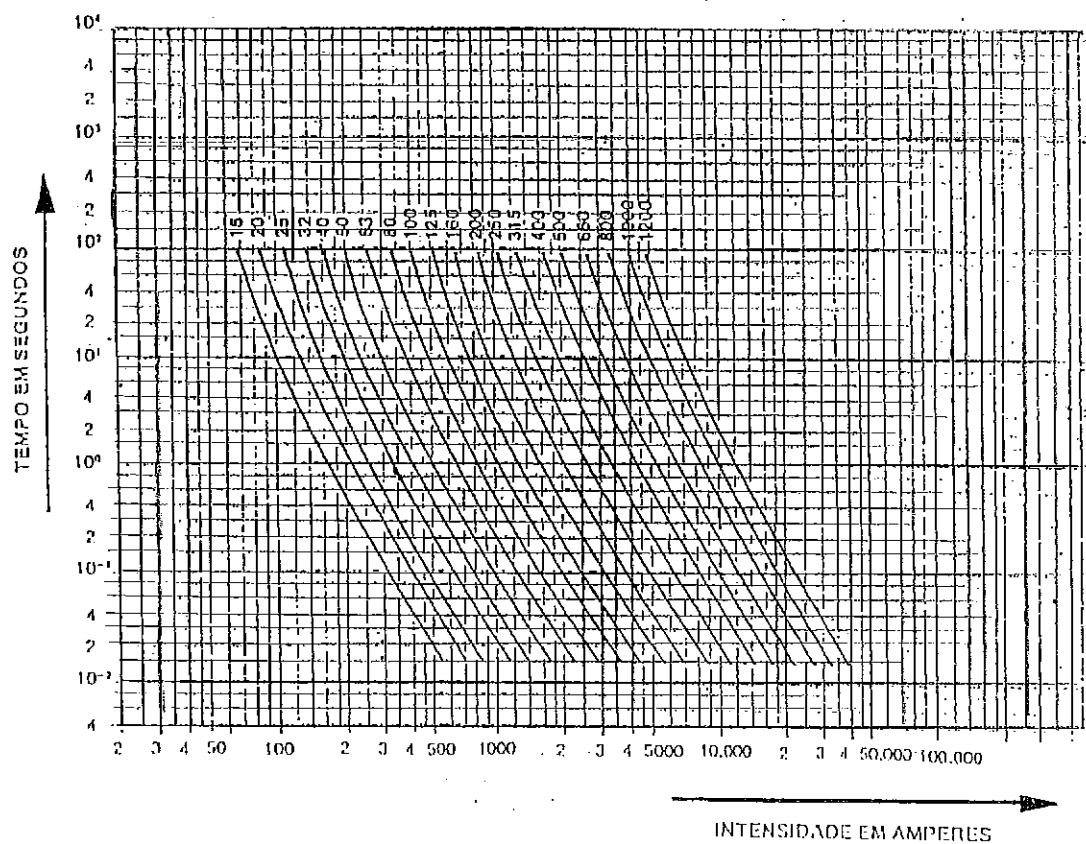
FUSÍVEIS gI DE 1 A 1200 A (LEGRAND)



FUSÍVEIS aM DE 0,16 A 125 A (LEGRAND)



FUSÍVEIS aM DE 16 A 1200 A (LEGRAND)



9 - CARACTERÍSTICAS DOS DIVERSOS PROCESSOS DE ARRANQUE

	Motores de rotor em curto-circuito (gaiola de esquilho)				Motores de rotor bobinado (de anéis)	
	Arranque directo	Arranque estrela-triângulo	Arranque estatístico	Arranque por auto-transf.	Arranque rotórico	
Corrente inicial de arranque	4 a $8 \times I_N$ (*)	1,3 a $2,6 \times I_N$ (**)	$4,5 \times I_N$	$1,7$ a $4 \times I_N$	$< 2,5 \times I_N$	
Duração normal do arranque	2 a 3 s (*)	3 a 7 s (**)	7 a 12 s	7 a 12 s	3 tempos: 3 a 6 s 4 e 5 tempos: 5 a 8 s	
Binário inicial de arranque	0,6 a $1,5 \times M_N$	0,2 a $0,5 \times M_N$	0,6 a $0,85 \times M_N$	0,4 a $0,85 \times M_N$	$< 2,5 \times M_N$	
Aplicações	- Pequenas máquinas arrancando mesmo a plena carga	- Máquinas arrancando em vazio - Ventiladores e bombas centrífugas de pequena potência	- Máquinas com grande inércia sem problemas especiais de binário e de corrente no arranque - Motores bobinados em estrela para a tensão nominal, quando por exigências diversas, se devam reduzir os inconvenientes do arranque directo	- Máquinas de grande potência ou de elevada inércia, quando a redução da ponta de intensidade é uma imposição importante	- Máquinas de arranque a plena carga - Máquinas de arranque progressivo	
Vantagens	- Arrancador simples e barato	- Arrancador relativamente barato	- Possibilidade de regulação dos valores de arranque - Sem cortes de alimentação durante o arranque	- Boa relação binário/corrente - Possibilidade de regulação dos valores de arranque - Sem corte de alimentação durante o arranque	- Muito boa relação binário/corrente - Possibilidade de regulação dos valores de arranque - Sem corte de alimentação durante o arranque	
Desvantagens	- Ponte da corrente no arranque muito elevada - A rede tem que admitir essa ponta	- Binário fraco no arranque - Impossibilidade de regulação - Corte da alimentação na passagem da ligação de estrela para triângulo e fenómenos transitórios - Motor bobinado em triângulo para a tensão nominal	- Fraca redução da ponta de arranque - Exige resistências	- Implica um auto-transformador de preço elevado	- Motor mais caro que o de rotor em curto-circuito - Necessidade de resistências para o arranque	

(*) - Salvo indicação em contrário, toma-se $6 \times I_N$ e 5 s.(**) - Salvo indicação em contrário, toma-se $2 \times I_N$ e 15 s.

10 - ESCOLHA DO TIPO DE MOTORES E SEUS ARRANQUES

Tipo de motor e de arranque	A rede admite fortes picos da corrente de arranque do motor ou o motor tem baixa potência (*)		Máquina accionada pelo motor				A rede não admite fortes picos da corrente de arranque do motor	—
	Arranque rápido	Arranque lento e progressivo	Com baixo binário resistente durante todo o arranque com características centrífugas	Com binário resistente no arranque $\cong 1/2$ do binário resistente em serviço normal	Com grande binário resistente ou arranque a plena carga	Funcionando a velocidades variáveis		
Rotor em c. circ. com arranque directo	Sim	—	—	—	—	—	—	
Rotor em c. circ. com arranque est.-triâng.	—	—	Sim	—	—	—	—	
Rotor em c. circ. com arranque por autotransf. ou por resistências ou indutâncias estáticas	—	—	—	Sim	—	—	—	
Rotor em c. circ. ou de rotor bobinado (arranque a estudar)	—	Sim	—	—	—	—	—	
Rotor bobinado com arranque rotórico	—	Sim	—	Sim	Sim	—	—	
Motor de corrente contínua ou alternada com variadores de velocidade electrónicos	—	—	—	—	—	—	Sim	

(*) - Segundo o Regulamento, salvo acordo em contrário com o Distribuidor, para motores trifásicos alimentados a partir da rede de distribuição de BT, admitem-se: arranques directos até 4 kW ($5,5 \text{ kVA} \Rightarrow 5,5 \text{ CV}$) e arranques estrela-triângulo até 11 kW ($15 \text{ kVA} \Rightarrow 15 \text{ CV}$)