

# CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

## **INTRODUÇÃO**

Os equipamentos de força motriz apresentam determinadas características:

- a corrente absorvida pelo motor, durante o arranque, é bastante superior à do funcionamento normal em carga;
- a potência absorvida em funcionamento é determinada pela potência mecânica no eixo do motor, solicitada pela carga accionada, o que pode resultar em sobrecarga no circuito de alimentação, se não houver uma protecção adequada;

A corrente de arranque  $I_a$  dos motores trifásicos de indução do tipo gaiola, que são utilizados em mais de 90% das aplicações, apresenta os seguintes valores típicos:

- para motores de dois pólos:  $I_a = 4,2 \text{ a } 9 I_n$ ;
- para motores com mais de dois pólos:  $I_a = 4,2 \text{ a } 7 I_n$ ;

sendo  $I_n$  a corrente nominal do motor.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

A corrente nominal  $I_n$  de um motor eléctrico é dada pelas seguintes expressões:

-monofásico:

$$I_n = \frac{P_n \times 10^3}{U_n \times \eta \times \cos \varphi}$$

-trifásico:

$$I_n = \frac{P_n \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_n \times \eta \times \cos \varphi}$$

em que:

$P_n$  = potência nominal (no eixo) do motor, em kW;

a potência é muitas vezes dada em HP (0,746 kW) ou em CV (0,736 kW);

$U_n$  = tensão nominal do motor, em Volt;

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

nos motores monofásicos  $U_n$  é a tensão simples e nos motores trifásicos a tensão entre fases;

- $\eta$  = rendimento do motor, definido como a razão entre a potência nominal, ou seja no eixo do motor, e a potência absorvida pelo motor;

$\cos\phi$  = factor de potência do motor;

Assim, por exemplo para um motor trifásico de gaiola, com as seguintes características:

- $P_n = 7,5 \text{ kW}$ ;

- $\cos\phi = 0,83$ ;

-  $\eta = 0,85$ , temos:

$$I_n = \frac{7,5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,85 \times 0,83} = 15,3 \text{ A}$$

## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

Para efeitos práticos, podemos dividir as aplicações de motores nos dois casos seguintes:

- aplicações normais;
- aplicações especiais;

As aplicações normais podem ainda subdividir-se em:

- cargas industriais e similares;
- cargas de instalações terciárias;

Calcula-se que as aplicações normais cubram cerca de 95% dos casos de utilização de motores em BT.

As aplicações especiais são todas as que não se enquadram na classificação anterior.

As cargas industriais e similares são constituídas por motores de indução de gaiola de esquilo, trifásicos, de potência igual ou inferior a 200 CV (147 kW), aplicados em regime contínuo.

## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

Já as cargas de instalações terciárias são normalmente constituídas por motores de potência nominal não superior a 2CV (1,5 kW), constituindo parte integrante de aparelhos electrodomésticos e profissionais.

De uma forma geral, os circuitos que alimentam equipamentos a motor apresentam certas características que não se encontram nos circuitos que alimentam outro tipo de cargas.

Estas características são as seguintes:

- queda de tensão significativa durante o arranque do motor;
- número e frequência de arranques geralmente elevados;
- o dispositivo de protecção contra sobrecargas deve suportar, sem actuar, a corrente de arranque do motor;

Por estes motivos estes circuitos podem exigir um tratamento diferenciado.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Assim, as cargas industriais ou similares devem ser tratadas de forma específica, enquanto que as cargas de instalações terciárias podem ser tratadas como os circuitos normais.

No quadro seguinte, indicam-se os elementos a considerar num circuito terminal de motor, destacando as diversas funções a serem executadas pelos dispositivos, no caso de cargas industriais ou similares.

Função	Dispositivos			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<b>Seccionamento</b>	Seccionador	Seccionador-fusível ou disjuntor magnético	Disjuntor motor	Disjuntor-contactor
<b>Protecção contra correntes de curto-circuito</b>	Dispositivo fusível			
<b>Protecção contra correntes de sobrecarga</b>	Relé térmico			
<b>Comando funcional</b>	Contactor	térmico	Contactor	

## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

Para as cargas industriais ou similares, o usual é ter-se um circuito terminal por motor, admitindo-se no entanto na prática circuitos terminais alimentando mais de um motor, em geral com potências inferiores a 1 CV, e eventualmente outras cargas.

Os circuitos terminais de motores são alimentados, em regra, a partir de quadros de força motriz (QFM) exclusivos.

Ao aparelhos electrodomésticos e profissionais a motor, são em regra ligados a tomadas de corrente de usos gerais. Neste tipo de aparelhos estão incluídos equipamentos fixos (por exemplo, aparelhos de ar condicionado de janela e do tipo "split"), transportáveis (por exemplo, frigoríficos e fotocopiadoras) ou portáteis (por exemplo, máquina de costura, desumidificador) e manuais (por exemplo, berbequins, batedeira).

Os circuitos terminais que alimentam tais aparelhos devem ser exclusivos no caso de aparelhos de maior potência.

## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

A este tipo de circuitos aplicam-se as regras usuais de protecção contra sobrecargas e curto-circuitos, sendo o comando funcional na maioria dos casos feito por dispositivo integrante do próprio aparelho.



## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

### **Circuitos de motores**

Existem normalmente 2 configurações básicas: num primeiro caso temos circuitos terminais individuais, isto é um para cada equipamento a motor, partindo de um quadro de distribuição de força motriz, que pode alimentar também circuitos terminais para outros tipos de equipamentos. As instalações de iluminação, tomadas, aquecimento e pequenos equipamentos são em geral alimentadas por quadros parciais distintos dos quadros de força motriz.

É o caso típico de instalações industriais.

A segunda configuração consiste num circuito terminal único, alimentando vários equipamentos a motor e, eventualmente, outras cargas.

É a solução adoptada, por exemplo, na alimentação de cargas a motor industriais e similares de pequeno porte (potências até 0,75 kW, em regra). É também o caso de um circuito terminal de tomadas de uso geral, onde são ligados equipamentos electrodomésticos ou profissionais com e sem motor.

# CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

## **Dimensionamento de circuitos de motores**

Para o dimensionamento de circuitos de motores devem ser considerados 2 factores: o factor de simultaneidade e o factor de carga.

O factor de simultaneidade é o quociente entre o somatório das potências pedidas por um grupo de motores e o somatório das potências individuais do mesmo grupo, num determinado intervalo de tempo.

Assim temos, para um conjunto de n motores:

$$f_s = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n (P_n)_i}$$

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

em que:

-P = potência pedida por cada um dos motores;

-P<sub>n</sub> = potência nominal de cada um dos motores;

A aplicação do factor de simultaneidade em instalações industriais deve ser precedida de um estudo minucioso, a fim de evitar o sub-dimensionamento de circuitos e equipamentos.

A tabela seguinte fornece os factores de simultaneidade para diferentes agrupamentos de equipamentos utilizados em instalações eléctricas industriais.

O factor de utilização de um motor é o factor pelo qual deve ser multiplicada a potência nominal do mesmo a fim de se obter a potência média absorvida pelo mesmo.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Numa tabela indicada adiante são aconselhados factores de utilização para equipamentos utilizados em instalações eléctricas industriais.

Na falta de dados mais precisos pode ser adoptado um factor de utilização igual a 0,75 para motores.

### Factores de simultaneidade

Equipamento	Número de aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: 3/4 a 2,5 cv	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,55	0,50	0,40
Motores: 3 a 15 cv	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,65	0,55	0,45
Motores: 20 a 40 cv	0,80	0,80	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,50
Motores: acima de 40 cv	0,90	0,80	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65	0,60
Rectificadores	0,90	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70	0,70
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30
Fornos resistivos	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Equipamento	Factor de utilização
Fornos de resistência	1,00
Secadores, caldeiras, etc.	1,00
Fornos de indução	1,00
Motores de 3/4 a 2,5 cv	0,70
Motores de 3 a 15 cv	0,83
Motores de 20 a 40 cv	0,85
Acima de 40 cv	0,87
Soldadores	1,00
Rectificadores	1,00

No caso de motores com arranque frequentes, por exemplo no caso de aparelhos elevadores, ascensores, etc. a corrente a considerar para o dimensionamento da canalização de alimentação deve ter em atenção a influência do arranque.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

A corrente admissível na canalização deverá ser calculada pela seguinte expressão:

$$I_{adm} = I_n + \frac{1}{3} \times I_a$$

em que:

$I_n$  = corrente nominal do motor;

$I_a$  = corrente de arranque do motor;

Para o dimensionamento de canalizações de alimentação de motores vamos considerar 3 casos:

1º- canalização que alimenta apenas um motor;

A corrente admissível deve ser calculada por:

$$I_{adm} \geq 1,25 \times I_{nm}$$

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

em que:

$I_{nm}$  = corrente nominal do motor;

2º- canalização que alimenta vários motores;

Neste caso vamos considerar 2 hipóteses

a) os motores não arrancam simultaneamente:

$$I_{adm} \geq 1,25 \times I_{nm} + \sum I_n$$

Se tivermos em consideração o factor de simultaneidade, fs:

$$I_{adm} \geq 1,25 \times I_{nm} + fs \times \sum I_n$$

em que:

$I_{nm}$  = corrente nominal do motor de maior potência;

$I_n$  = corrente nominal dos restantes motores;

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

b) dois ou mais motores arrancam simultâneamente;

$$I_{adm} \geq 1,25 \times I_{nas} + \sum I_n$$

em que:

$I_{nas}$  = corrente nominal dos motores que arrancam simultâneamente;

$I_n$  = corrente nominal dos restantes motores;

Se tivermos em consideração o factor de simultaneidade, fs:

$$I_{adm} \geq 1,25 \times I_{nas} + fs \times \sum I_n$$

3º- canalização que alimenta outras canalizações secundárias;

$$I_{ag} \geq 1,25 \times I_{amc} + \sum I_{ar}$$



## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

em que:

$I_{ag}$  = corrente admissível da canalização geral;

$I_{amc}$  = corrente admissível da canalização mais carregada;

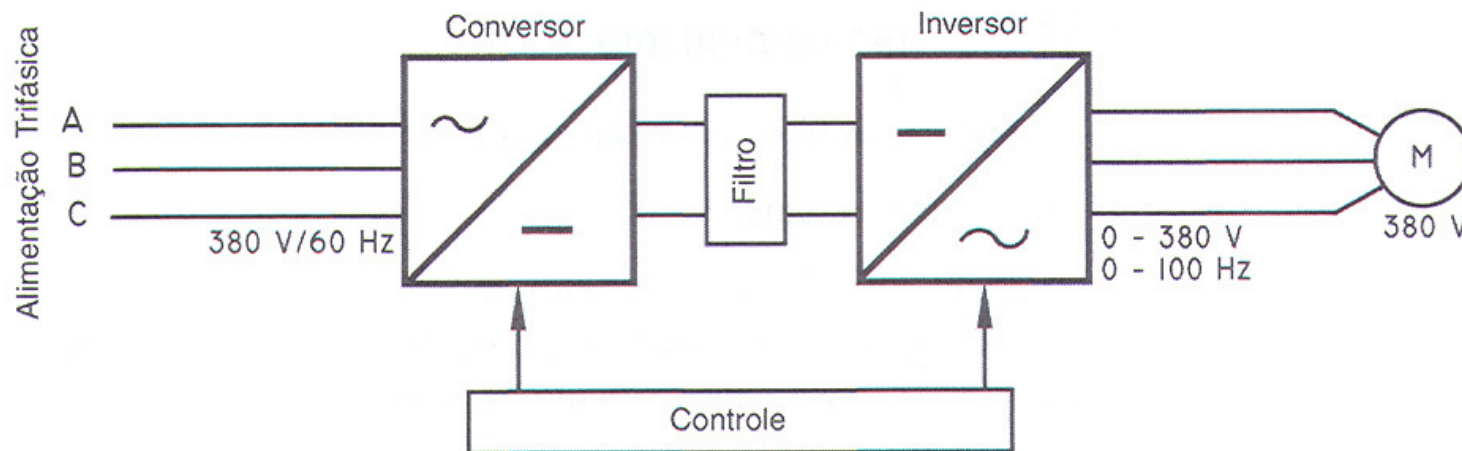
$I_{ar}$  = corrente admissível das restantes canalizações;

Este é o caso por exemplo da corrente admissível numa canalização pré-fabricada, que alimenta um conjunto de canalizações de alimentação de motores individualmente.

Em algumas indústrias (química e petroquímica, cimento, siderurgia, etc.) é muito utilizado o controle de velocidade dos motores eléctricos em função do processo de fabrico.

O controle de velocidade de motores com rotor em curto-circuito é possível com o uso de inversores de frequência, que são equipamentos constituídos basicamente por um rectificador e um inversor, conforme se mostra na figura seguinte.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ



Os inversores de frequência fornecem uma forma de onda não inteiramente sinusoidal, o que implica perdas adicionais no motor na ordem dos 15%. No caso de motores em funcionamento é necessário verificar se existe capacidade de potência de reserva na percentagem anteriormente citada. Assim, a potência de um motor controlado por um inversor de frequência pode ser calculada por:

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

$$P_{nm} = 1,15 \times P_{em} \times \frac{W_{nom}}{W_{min}}$$

em que:

$P_{nm}$  = potência nominal do motor;

$P_{em}$  = potência no eixo do motor;

$W_{nom}$  = velocidade angular nominal do motor, em rpm;

$W_{min}$  = velocidade angular mínima do motor correspondente à potência mínima solicitada, em rpm;

Em geral, os inversores estáticos são dimensionados com um valor nominal superior à corrente nominal do motor, de forma a responder a qualquer necessidade de sobrecarga.

# CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

## **Regimes de funcionamento dos motores**

O regime de funcionamento de um motor indica o grau de regularidade na absorção de potência eléctrica da rede de alimentação devido às variações do binário da carga.

Os motores, em geral, são projectados para trabalharem regularmente com carga constante, por tempo indeterminado, desenvolvendo a sua potência nominal no que é chamado regime contínuo.

Podemos considerar os seguintes regimes de funcionamento de motores:

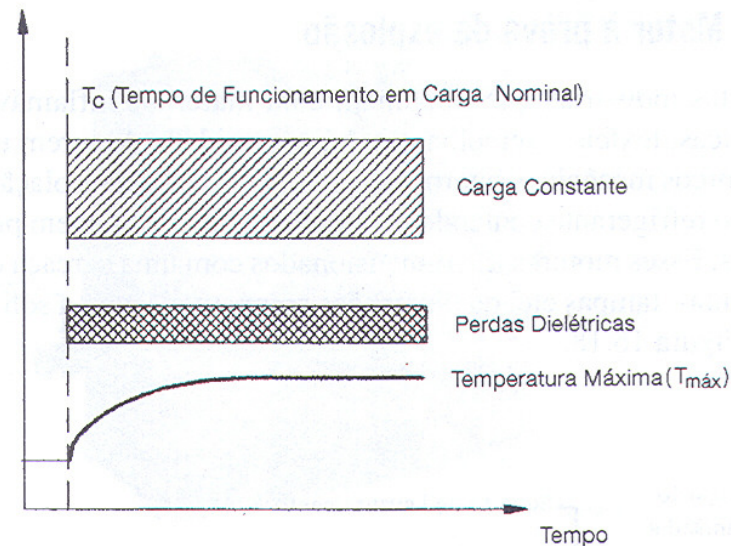
### S1 – regime contínuo

É o regime em que o motor trabalha continuamente por um período de tempo significativamente maior do que a sua constante térmica de tempo.

Neste tipo de regime, quando o motor é desligado só retoma o funcionamento quando todas as suas partes componentes estão em equilíbrio com o meio exterior.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

A figura seguinte representa este tipo de regime.

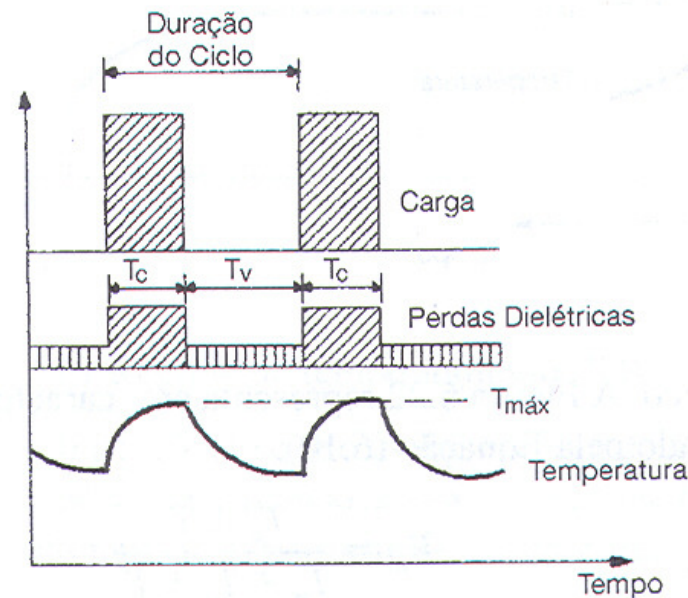


### S2 – regime de tempo limitado

Neste tipo de regime o motor é accionado com uma carga constante por um dado intervalo de tempo, seguindo-se um período de tempo em repouso suficiente para permitir ao motor atingir a temperatura do meio envolvente.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

A figura seguinte representa este tipo de regime.



### S3 – regime intermitente periódico

Neste tipo de regime o motor funciona com uma carga constante por um período de tempo definido e repousa durante outro intervalo de tempo definido, sendo tais intervalos de tempo muito curtos para permitir ao motor atingir o equilíbrio térmico durante o ciclo.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

O motor não é afectado de modo significativo pela corrente de arranque. Cada um destes regimes de funcionamento é caracterizado pelo chamado factor de duração do ciclo, que é a relação entre o tempo de funcionamento da máquina e o tempo total do ciclo. Para este caso o factor de duração do ciclo  $F_c$  é dado por:

$$F_c = \frac{T_f}{T_f + T_r}$$

em que:

$T_f$  = tempo de funcionamento do motor em regime constante;

$T_r$  = tempo de repouso do motor;

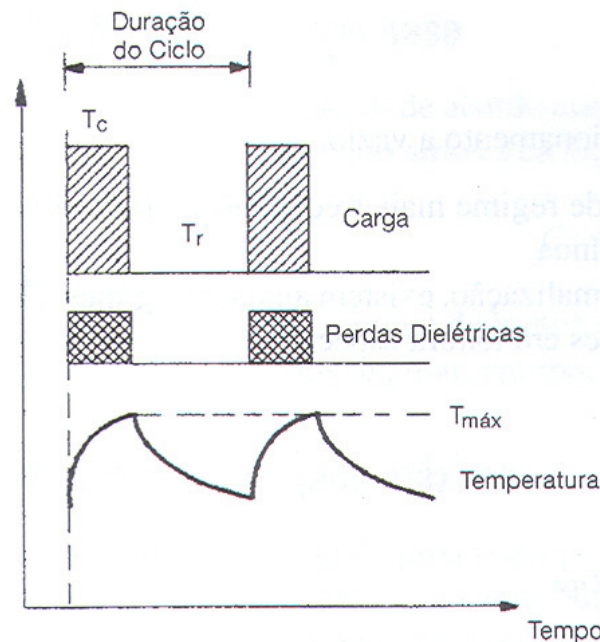
S4 – regime intermitente periódico com arranques

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos semelhantes.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Cada ciclo consiste num intervalo de arranque bastante longo, capaz de elevar significativamente a temperatura do motor, um período de ciclo com carga constante e um período de repouso, suficiente para o motor atingir o seu equilíbrio térmico.

A figura seguinte representa este regime de funcionamento.





## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Neste caso o factor de ciclo  $F_c$  é dado por:

$$F_c = \frac{T_a + T_f}{T_a + T_f + T_r}$$

em que:

$T_a$  = tempo de arranque do motor;

$T_f$  = tempo de funcionamento do motor em regime constante;

$T_r$  = tempo de repouso do motor;

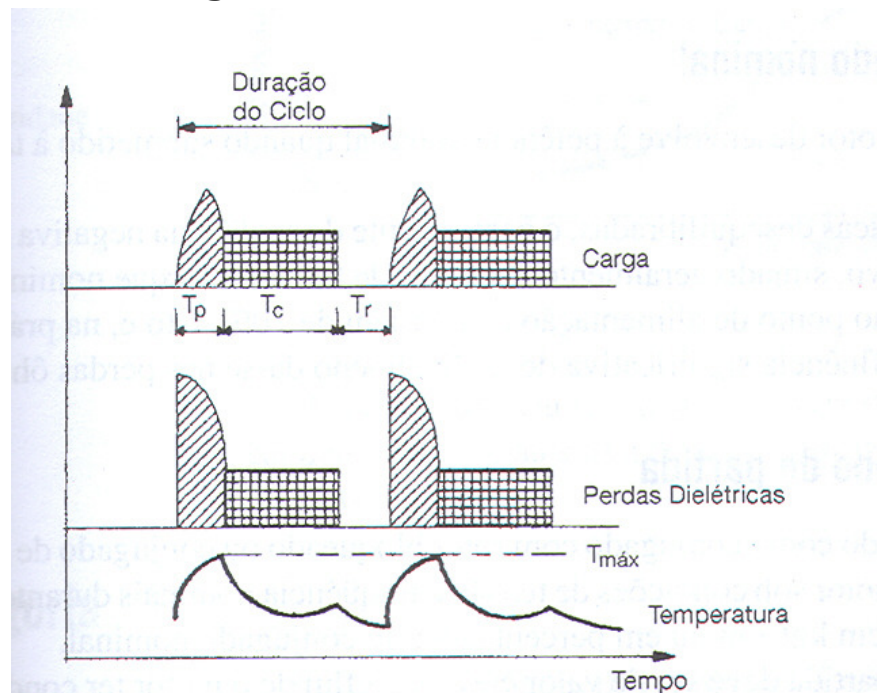
S5 – regime intermitente com frenagem eléctrica

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos semelhantes.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Cada ciclo consiste num intervalo de arranque bastante longo, capaz de elevar significativamente a temperatura do motor, um período do ciclo a carga constante seguido de frenagem eléctrica e, finalmente, um período de repouso suficiente para que o motor atinja o equilíbrio térmico.

A figura seguinte representa este regime de funcionamento.



## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Neste caso o factor de ciclo  $F_c$  é dado por:

$$F_c = \frac{T_a + T_f + T_t}{T_a + T_f + T_r + T_t}$$

em que:

$T_a$  = tempo de arranque do motor;

$T_f$  = tempo de funcionamento do motor em regime constante;

$T_r$  = tempo de repouso do motor;

$T_t$  = tempo de frenagem do motor;

### S6 – regime contínuo periódico com carga intermitente

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos semelhantes, em que cada ciclo compreende duas partes, uma com carga constante e outra em funcionamento em vazio.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Neste caso o factor de ciclo  $F_c$  é dado por:

$$F_c = \frac{T_f}{T_f + T_v}$$

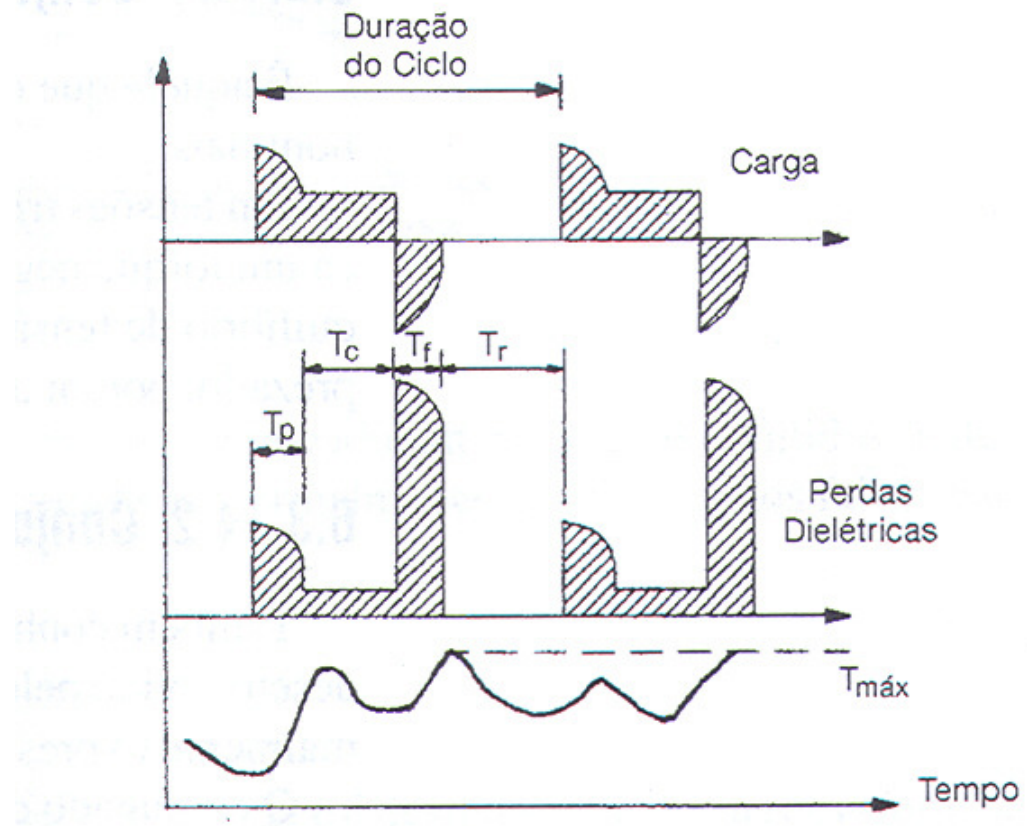
em que:

$T_v$  = tempo de funcionamento em vazio;

$T_f$  = tempo de funcionamento do motor em regime constante;

Este é um dos tipos de regimes mais frequentes na prática, também designado de regime intermitente com carga contínua.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ



# CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

## **Protecção de circuitos de motores**

### Protecção contra sobrecargas

As causas mais frequentes que provocam o aquecimento de um motor eléctrico são múltiplas:

- sobrecargas (por exemplo, aumento do binário resistente);
- arranques demasiado longos e repetidos;
- corte de uma das fases da alimentação (por exemplo, fusão de um fusível);
- bloqueio do rotor;

Para assegurar a protecção, é perfeitamente conveniente o emprego de um relé tripolar térmico compensado e diferencial.

Para um motor eléctrico “de uso convencional” é uma boa escolha técnico-económica.

## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

As estatísticas das companhias de seguros mostram que os relés térmicos cobrem 44% das falhas.

Na fase de funcionamento normal, pode considerar-se que a intensidade absorvida por um motor eléctrico é um reflexo da sua imagem térmica.

No caso de uma sobrecarga accidental, o relé térmico dá ordem de corte assegurando assim a protecção do motor.

Isto deixa de ser válido quando um motor standard for submetido a arranques próximos e repetitivos.

De facto, a inércia térmica de um relé térmico e de um motor são diferentes: o relé térmico arrefece mais rapidamente do que o motor.

Com efeito, após um disparo o relé térmico volta à sua posição inicial num tempo no máximo igual a 3 minutos, enquanto que o motor está ainda à sua temperatura de funcionamento.

O motor pode ser destruído antes de o relé térmico dar a ordem de disparo.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

O relé térmico tem o inconveniente de não ter em conta, de forma precisa, o estado térmico real do motor eléctrico.

Entre as causas de aquecimento não controladas pelos relés térmicos podemos citar:

- temperatura ambiente demasiado elevada;
- defeito do sistema de ventilação natural do motor;
- cadencia demasiado elevada;

Nestes casos, é necessário prever um sistema de protecção sensível à imagem térmica real do motor.

Os sistemas térmicos de protecção são incorporados nas bobinagens do motor, associados a um relé específico:

- termostato de lâmina bimetálica;
- sonda térmica de termistância (CTP);
- detector térmico de resistência –  $100\ \Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ .;
- detector térmico de termopar;



## **CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ**

O custo de tais dispositivos justifica-se para os motores de BT de uma certa potência ou de uma importância vital.

Existem muitos outros dispositivos de protecção, relativos a máquinas de BT de elevada potência, sendo necessário a partir dos 300 kW realizar um estudo económico para verificar se é de encarar uma alimentação em MT.

### Protecção contra curto-circuitos

Os relés térmicos não podem efectuar uma protecção eficaz contra os curto-circuitos, a qual deve ser realizada por outros meios.

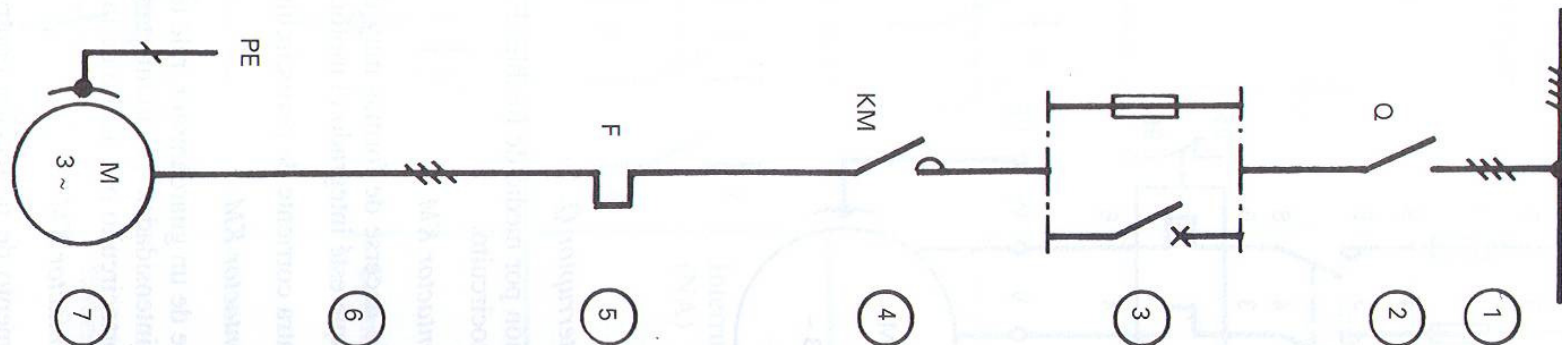
Em geral, utilizam-se fusíveis correctamente calibrados e de poder de corte adequado.

Os fabricantes de relés indicam normalmente o calibre máximo do fusível a utilizar com o relé, o qual deverá também ser dimensionado para suportar a corrente de curto-circuito.

## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Mesmo no caso do rotor ficar bloqueado deverá ser o relé a efectuar o corte e não o fusível.

Podem também aplicar-se disjuntores próprios para protecção de motores, equipados com relés térmicos e electromagnéticos, com gamas de 0,1 a 25 A. A figura seguinte mostra os vários constituintes de um circuito de alimentação e protecção de um motor.



## CIRCUITOS DE FORÇA MOTRIZ

Nesta figura, temos:

- 1- barramento;
- 2- seccionador, com as funções de:
  - ligar à rede;
  - isolar da rede;
- 3- protecção contra correntes de curto-circuito, que pode ser efectuada por:
  - fusíveis calibrados;
  - disjuntor;
- 4- contactor para comutação;
- 5- relés térmicos, para protecção contra sobrecargas;
- 6- outros eventuais controlos do receptor, com funções tais como:  
DDR, controlo de isolamento, controlo de temperatura por meio de sondas, ou protecção multi-função;