

EQUIPAMENTOS DE MANOBRA E PROTECÇÃO DE MOTORES DE BAIXA TENSÃO

Manuel Bolotinha, MSc, Engenheiro Electrotécnico ⁱ

1. INTRODUÇÃO

Os motores eléctricos de corrente alternada em baixa tensão, que **transformam energia eléctrica em energia mecânica**, desempenham um papel fundamental na indústria produtiva e na indústria da construção, tendo também uma larga aplicação doméstica.

Neste artigo serão abordados os equipamentos habitualmente utilizados na sua **manobra e protecção**.

2. CONTACTORES

Os equipamentos normalmente utilizados para o **arranque e paragem** de *motores eléctricos de baixa tensão (BT)*¹ são os **contactores**, que devem obedecer à *Norma IEC*² 60947, que são equipamentos de **corte e manobra**, com **capacidade** para o *estabelecimento e a interrupção das correntes de arranque e de serviço*, permitindo **um número elevado de manobras de fecho e de abertura dos circuitos de alimentação de cargas**, sujeitas a **ciclos frequentes** de “ligar-desligar”.

Nos *motores BT* os *contactores* também integram os **sistemas de mudança de sentido de rotação e de velocidade**, quando tal é requerido.

As **características** dos *contactores* são os seguintes:

- *Tensão estipulada*³ (ca ou cc⁴).
- *Intensidade estipulada*.
- *Número de manobras*.

Devem ainda ser considerados na definição dos *contactores*:

- *Tensão de comando* (ca ou cc).
- *Número de contactos auxiliares* **NA** e **NF**⁵.

Em aplicações particulares os *contactores* podem dispor de **encravamentos mecânicos e/ou eléctricos**, a fim de evitar **falsas manobras** (por exemplo, no caso

¹ BT: $U \leq 1 \text{ kV}$.

² IEC: *International Electrotechnical Commission*.

³ **Valor estipulado** (para equipamentos): Valor de uma grandeza fixado, em regra, pelo fabricante para um dado funcionamento especificado de um componente, de um dispositivo ou de um equipamento; este valor corresponde ao anteriormente designado por “*valor nominal*”, designação que atualmente é apenas utilizada para redes.

⁴ **ca**: *corrente alternada*; **cc**: *corrente contínua*.

⁵ **NA**: *contacto normalmente aberto*; **NF**: *contacto normalmente fechado*.

dos contactores BT, **ordens de comando simultâneo** para dois sentidos de marcha diferentes de um motor).

Os contactores dispõem de uma *bobina de fecho*, **actuada electricamente**, por corrente alternada ou corrente contínua, funcionando por emissão de corrente. **O corte de corrente provoca a abertura do contactor.**

O comando dos contactores pode ser feito **local ou remotamente**, de **forma automática** (sensores, **PLC** – *Progamable Logic Controllers*, etc.) ou de **forma manual** (interruptores ou botoneiras de impulso).

Por questões de **segurança**, junto ao motor, deve existir uma **botoneira de paragem de emergência**, como se representa na Figura 1.



Figura 1 – Exemplo de uma botoneira de paragem de emergência de um motor

Os contactores BT são utilizados ainda na manobra de *baterias de condensadores e circuitos de iluminação*, designadamente de *iluminação pública e exterior*.

Nos contactores BT o **corte é feito no ar**, fazendo-se a **extinção do arco** numa **câmara própria para o efeito**. Estes equipamentos são **classificados**, de acordo com as condições de utilização, **nas seguintes categorias**:

Corrente alternada

- **AC1:** Cargas pouco ou não indutivas.
- **AC2:** Arranque, paragem e mudança do sentido de rotação de motores de corrente alternada de rotor bobinado.
- **AC3:** Arranque, paragem e mudança do sentido de rotação de motores de corrente alternada de rotor em curto-circuito.
- **AC4:** Arranque, paragem, mudança do sentido de rotação e arranques sucessivos de curta duração de motores de corrente alternada.

Corrente contínua

- **DC1:** Cargas pouco ou não indutivas.
- **DC2:** Arranque e paragem de motores de corrente contínua de excitação shunt⁶.
- **DC3:** Arranque, paragem e mudança do sentido de rotação de motores de corrente contínua de excitação shunt.
- **DC4:** Arranque e paragem de motores de corrente contínua de excitação série⁷.
- **DC5:** Arranque, paragem e mudança do sentido de rotação de motores de corrente contínua de excitação série.

As tensões estipuladas habituais dos *contactores BT* são: **240 V; 400 V; 440V; 500 V; 600/690 V.**

Já as *correntes estipuladas* **dependem do tipo de utilização**, uma vez que para o mesmo *contactor* as *correntes* estipuladas são, por exemplo:

- Em categoria AC1: **45 A.**
- Em categoria AC3: **25 A.**
- Em categoria AC4: **12 A.**



Figura 2 – Contactor BT

⁶ **Motores de excitação shunt:** Nestes motores o circuito do enrolamento de campo que produz a excitação está em paralelo ou em derivação com o circuito de armadura, sendo apenas necessária uma fonte de corrente contínua para alimentar o circuito da armadura e do campo, pois ambos os circuitos estão em paralelo. Como o enrolamento de campo está em paralelo ou em derivação com o circuito da armadura, é possível utilizar o mesmo tipo de condutor do caso de excitação independente.

⁷ **Motores de excitação série:** Nestes motores o circuito do enrolamento do campo que produz a excitação está em série com o circuito da armadura, sendo assim necessário apenas uma fonte para alimentar o circuito do campo e da armadura. Como neste caso a corrente que circula no enrolamento do campo que produz a excitação é a mesma corrente que circula no enrolamento da armadura, é necessário um enrolamento próprio para o circuito de excitação, capaz de suportar correntes relativamente altas da armadura.

3. PROTECÇÃO CONTRA SOBRECARGAS

A **protecção** dos *motores eléctricos BT* contra **sobrecargas**, para *potências que usualmente não excedam os 80/100 kW*, e dependendo da *importância do motor no processo produtivo (ou outro)* em que se encontra inserido, é habitualmente garantida por **relés térmicos reguláveis**, que devem obedecer à *Norma IEC 60947*, de que se mostra um exemplo na Figura 3, habitualmente associados a *contactores*.



Figura 3 – Relé térmico

Em caso de *actuação do relé térmico*, um **contacto auxiliar** deste equipamento **interrompe o circuito de alimentação da bobina do contactor**, provocando a abertura deste, o que é representado na Figura 4, onde **K1** representa o *contactor* e a respectiva *bobina de comando* e **F** o *relé térmico* e o respectivo *contacto auxilia*.

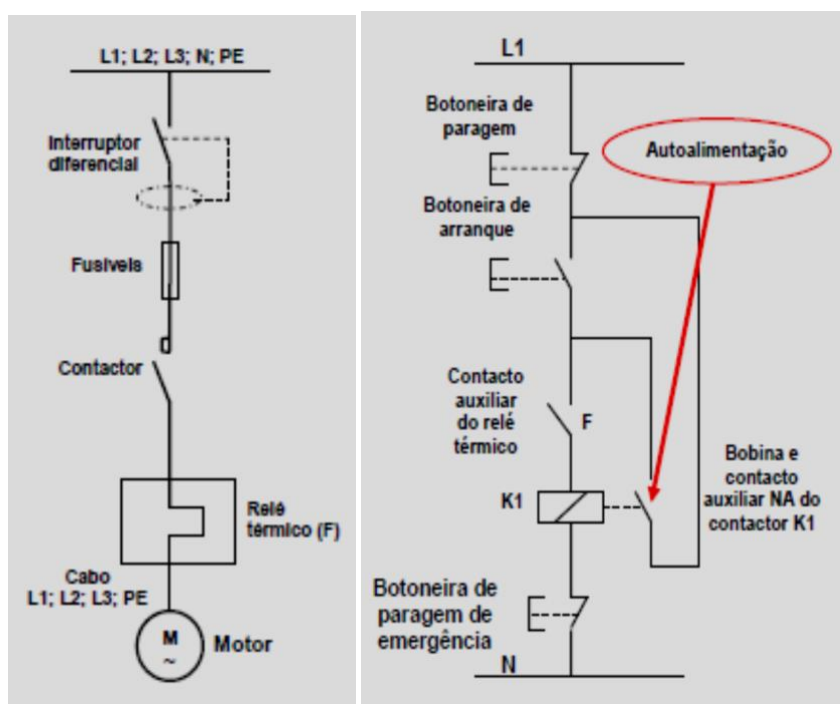


Figura 4 – Circuito de potência (esquerda) e de comando (direita) de um contactor para um motor BT

Cabe aqui referir que há *situações* em que **não se utiliza a protecção contra sobrecargas**, preferindo-se que **o motor continue em funcionamento até à sua paragem por avaria ou destruição**, como é o caso dos **motores das bombas de água de combate a incêndios**.

Os *relés térmicos* são principalmente do tipo **bimetálico**. Estes relés são constituídos por dois *metais diferentes*, com **coeficiente de dilatação diferente**; quando ocorre uma *sobrecarga* a **dilatação dos metais** provoca um “**encurvamento**” da *placa bimetálica*, que origina a **abertura** do *órgão de manobra* que lhe está associado – o **contactor** – como se representa na Figura 4.

Os relés térmicos podem ser também do *tipo electrónico*, que contudo é utilizado preferencialmente em **motores de baixa tensão de elevada potência**.

A *selecção dos relés* é feita **de acordo com a potência do motor**, sendo *reguláveis*, normalmente entre **85%** e **115%** da sua *corrente nominal*. A fim de evitar **disparos intempestivos** os *relés térmicos* devem ser seleccionados **de acordo com a temperatura ambiente**; a temperatura ambiente considerada habitualmente pelos fabricantes é de **40 °C**.

Os modelos actuais no mercado apresentam já *compensação de temperatura* e actuação em caso de *falta de uma fase*.

A *falta de uma fase* pode ser provocada pela *fusão do fusível dessa fase*, em caso de **curto-circuito à terra**, por exemplo.

4. PROTECÇÃO CONTRA CURTO-CIRCUITOS

A protecção dos *motores eléctricos BT* contra **curto-circuitos** é realizada por meio de **fusíveis**.

Os *fusíveis*, que são um tipo de **resistência de baixo valor óhmico**, podem ser definidos como um “*elemento de sacrifício*”, que se funde quando percorrido por *correntes elevadas*, **para protecção dos circuitos e equipamentos contra sobrecargas e curto-circuitos**, devendo obedecer ao estipulado nas *Normas IEC 60269, 60282 e TR⁸ 61912*.

Os *fusíveis* não são habitualmente utilizados contra a *protecção dos motores eléctricos BT contra sobrecargas*, porque se *fossem dimensionados para tal*, **poderiam actuar no momento de arranque dos motores⁹**, dando origem a *disparos intempestivos*.

O principal componente de um *fusível* é um **fio ou fita metálica** (*habitualmente zinco, cobre, alumínio, prata ou ligas metálicas*), de **secção bastante inferior à secção dos condutores do circuito**, que *funde* quando o valor da **corrente que o percorre é muito elevado** e *interrompe o circuito*, evitando que o **defeito provoque outros danos** na *instalação*, como sejam o *sobreaquecimento* ou o *incêndio*.

Este componente, que é **calibrado** para *garantir as suas características* e a *não interrupção do circuito com a corrente de serviço*, é instalado num *invólucro não*

⁸ TR: Technical Report.

⁹ A título de exemplo refira-se que a **corrente de arranque** de um *motor* é aproximadamente **5 a 7 vezes** a sua *corrente nominal*.

combustível – **material cerâmico, vidro, material plástico, fibra de vidro ou mica moldada**, dependendo do fabricante, da aplicação e da tensão de serviço.

Os *fusíveis* são montados em **bases**, expressamente concebidas para o *tipo de fusível*. A Figura 5 mostra o exemplo de um *fusível de facas do tipo NH* e respectiva base.

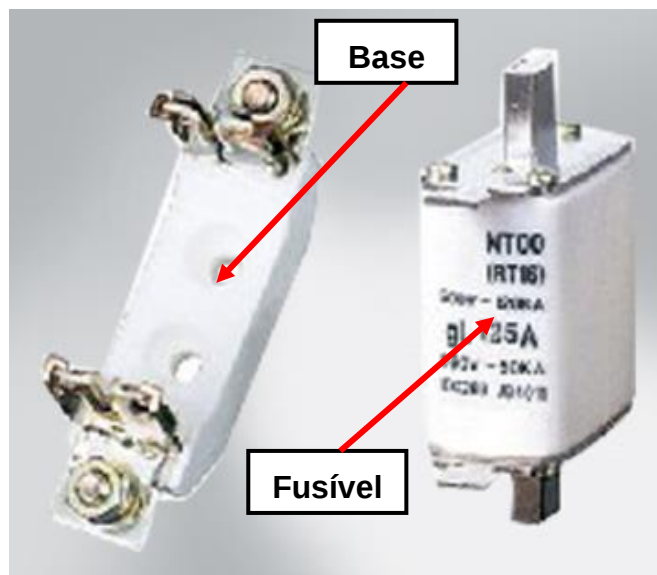


Figura 5 – Fusível BT e base

As **principais características** dos *fusíveis* são:

- *Tensão estipulada.*
- *Corrente estipulada (I_n)* – valor máximo da corrente que o fusível pode conduzir continuamente sem interromper o circuito.
- *Poder de corte estipulado (I_1)* – corrente máxima que o fusível pode interromper com segurança, variando habitualmente entre **23 kA** e **63 kA**, embora em alguns tipos possa atingir os **100 kA**.
- *Corrente convencional de funcionamento ou corrente convencional de fusão (I_f)* – **corrente mínima que provoca a fusão do fusível.**
- *Corrente convencional de não funcionamento (I_{nf})* – **valor da corrente que o fusível é capaz de conduzir sem fusão, durante um tempo definido** (designado por **tempo convencional**), *expressido como um múltiplo de I_n* (exemplo: $I_{nf} = 1,25 \times I_n$).
- *Fusão convencional ($I^2 t$)*: medida da energia necessária para provocar a fusão do fusível (esta característica baseia-se na **lei de Joule**).
- *Curva tempo-corrente* (ver Figura 6) – indica o tempo de actuação do fusível em função da corrente (característica habitualmente fornecida pelo fabricante e que está definida nas normas aplicáveis).

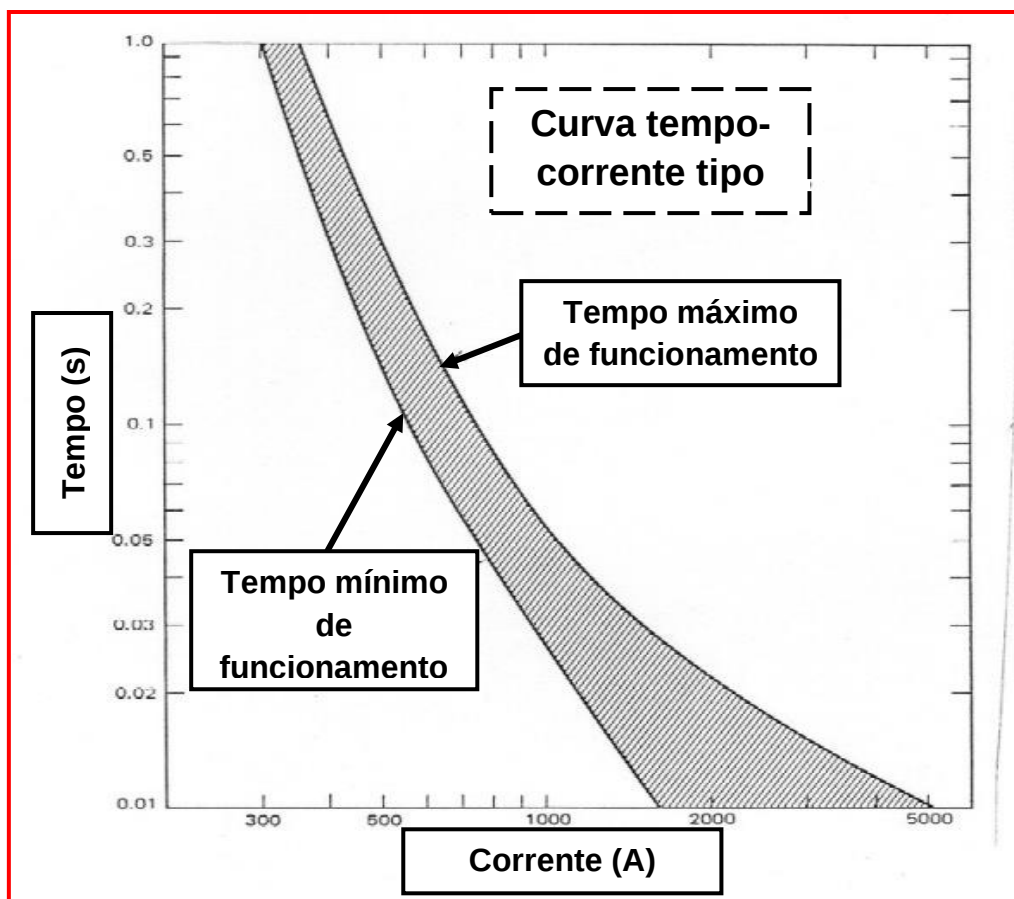


Figura 6 – Exemplo da curva tempo-corrente de um fusível

A **temperatura** tem uma importante influência no funcionamento do fusível, uma vez que **os seus valores característicos são definidos para uma determinada temperatura de serviço**. Se a temperatura de serviço for diferente da especificada pelo fabricante, é necessário **aplicar um factor de correção**, que é também indicado pelo fabricante, segundo as **normas aplicáveis**.

Os **factores** a considerar para a **selecção de fusíveis** são:

- Tensão nominal da instalação.
- Corrente de serviço.
- Temperatura ambiente.
- Corrente de sobrecarga e tempo de atuação desejado para o fusível.
- Valor máximo da corrente de curto-circuito.
- Correntes de arranque (quando aplicável) e picos transitórios de corrente expectáveis.
- Eventuais limitações dimensionais.
- Tipo de montagem.
- Aplicação.
- Normas e regulamentos aplicáveis.

Classificação dos fusíveis BT

De acordo com a *Norma Francesa NF EN 60269* (harmonizada com as *Normas europeias EN*), e que é usada vulgarmente numa larga maioria de países, os *fusíveis BT*, tendo em consideração as **funções, aplicação e a curva tempo-corrente**, classificam-se da seguinte forma:

gL/gG

Destinam-se sobretudo à protecção de circuitos e equipamentos, sendo os de utilização mais habitual.

aM

Utilizados na protecção de motores, habitualmente designadas por “*fusíveis de acompanhamento motor*”, destinam-se apenas à protecção contra curto-circuitos, devendo ser conjugados com outros tipos de equipamentos para a protecção de sobrecargas.

gR

São fusíveis ultra-rápidos, com forte capacidade de limitação da corrente de curto-circuito, valor baixo de I^2_{xt} , utilizados essencialmente na protecção de equipamentos com semi-condutores, tais como *UPS*, variadores de velocidade, conversores de frequência, etc.

A **selectividade entre fusíveis** é habitualmente garantida se a **relação entre as correntes estipuladas** da *regulação de dois fusíveis consecutivos* for **igual ou superior a 1,6**.

Já a **selectividade entre um fusível e o disjuntor**, com *um dos aparelhos instalado imediatamente a montante do outro*, é **garantida se a relação entre as correntes estipuladas do fusível e do disjuntor** for **igual ou superior a 2**.

Na protecção de *motores BT* contra **curto-circuitos** devem ser utilizados fusíveis dos tipos **aM** ou **gC**, cujas *intensidades estipuladas* devem ser **seleccionadas** de acordo com a *regulação do relé térmico*, utilizando-se para o efeito tabelas fornecidas pelos fabricantes, de que se apresenta um exemplo na Tabela 1, para motores trifásicos.

Tabela 1 – Intensidade estipulada de fusíveis de protecção de motores

Potência do motor – valores aproximados (kW)	Corrente de regulação do relé térmico (A)	Intensidade estipulada do fusível (A)	
		aM	gC
0,03-0,07	0,1-0,16	0,25	2
0,08-0,6	0,16-1,25	0,25	2
0,12-0,2	0,25-0,4	1	2
0,2-0,3	0,40-0,63	1	2
0,3-1	0,63-1	2	4
1-1,2	1-1,16	2	4
0,9-1,1	1,25-2	4	6
1,2-2	1,6-2,5	4	6
1,2-2	2,5-4	6	10
2-3	4-6	8	16

3,4-4	6,5-8	12	20
3,6-5	7-10	12	20
4,6-7	9-13	16	25
6-9	12-18	20	35
8,8-13	17-25	25	50
12-18	23-32	40	63
15,5-20	28-36	40	80
16,6-22	30-40	40	100
20-42	37-50	63	100
40-55	48-65	63	100
46-60	55-70	80	125
53-68	63-80	80	125
68-79	80-93	100	160

5. DISJUNTORES MOTOR

Na protecção dos *motores BT* contra *sobrecargas e curto-circuitos* o conjunto **relé térmico-fusível** é frequentemente substituído por **disjuntores** com *disparadores magneto-térmicos* com uma **curva de disparo adequada à protecção dos motores**; o **disparador térmico** (*protecção contra sobrecargas*) é *insensível à corrente de arranque dos motores* e **regulável**, para ajuste à *potência do motor*. Os *disjuntores* devem obedecer às *Normas IEC 60898 (aplicações domésticas ou similares)* e *60947 (aplicações industriais)*.

Estes *disjuntores* são vulgarmente designados por **disjuntores motor** e dispõem de *contactos auxiliares* destinados a *interromper o circuito de alimentação do contactor em caso de actuação da protecção*.

Na Figura 7 apresenta-se um exemplo de um disjuntor motor.



Figura 7 – Disjuntor motor

ⁱ O Autor **não** segue o Novo Acordo Ortográfico.