

4.5.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Seu projeto de comando de um acionamento de uma partida direta foi finalizado e outro projeto de comando já está sobre sua mesa à espera.

A empresa recebeu a encomenda de um projeto de ventilador para um túnel de vento de uma grande empresa de ensaios. Toda a especificação foi concluída pela engenharia, assim como o projeto mecânico. Agora é preciso construir o projeto do comando elétrico e essa tarefa foi atribuída a você. Assim sendo, o setor de engenharia enviou-lhe a seguinte especificação:

A especificação técnica para o projeto do ventilador para um túnel de vento é composta de:

a) **Sistema de alimentação:**

- sistema trifásico a quatro fios e terra (PE), tensão de fase-fase de 220 V.

b) **Motor a ser utilizado:**

- motor de indução trifásico, modelo W21 de 6 pontas;
- potência: 10 cv;
- tensão/frequência: 220/380 V - 60 Hz;
- quatro polos;
- tempo de partida: 5 s;
- fator de serviço (FS): 1,15;
- corrente nominal (I_n): 26,6 A;
- $I_p/I_n = 8$.

c) **Requisitos de projeto:**

- botão de partida;
- botão de parada de emergência;
- proteção contra curto-circuito e sobrecarga;
- desligamento automático na condição de sobrecarga;
- em caso de desacionamento por sobrecarga, o acionamento seguinte deve ser manual.

Você recebeu os requisitos do projeto, mas, como sempre, o tempo para execução é apertado.

Para iniciar efetivamente o projeto, é necessário definir qual é o modelo de acionamento mais apropriado para essa aplicação. A opção natural é pelo acionamento de partida direta, principalmente pelas vantagens anteriormente apontadas. No entanto, após uma avaliação preliminar, essa opção foi descartada pelos seguintes impedimentos:

- a) O uso de um motor de indução do tipo gaiola de esquilo gera uma corrente de pico da ordem de 4 a 8 vezes a corrente nominal do motor. Na pior das hipóteses, esse pico de corrente pode chegar a, aproximadamente, 212 A, que é um valor muito alto e, provavelmente, iria comprometer outros sistemas ligados a essa rede de alimentação.
- b) Outro fator determinante para que este tipo de acionamento não seja utilizado é a limitação imposta pelos distribuidores de energia de somente permitir que um motor de indução de até 5 cv possa ser acionado por partida direta.

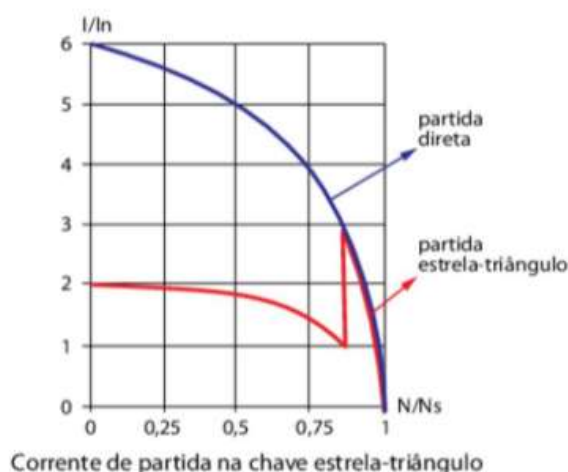
Dessa forma, outro modelo de partida de motores de indução do tipo gaiola que poderia ser utilizado no projeto é o acionamento de partida estrela-triângulo.

Você já estudou esse tipo de acionamento no livro sobre manutenção industrial, no capítulo 4. Vamos apenas relembrar alguns pontos relevantes desse tipo de acionamento, para termos mais segurança quanto à utilização desse modelo no projeto que iremos desenvolver.

São características relevantes que pesam a favor da sua escolha:

- a) a tensão na partida cai a 58% da tensão nominal e a corrente de partida (I_p) cai em, aproximadamente, $1/3$ da corrente de pico da partida direta.

A figura a seguir mostra essa relação.



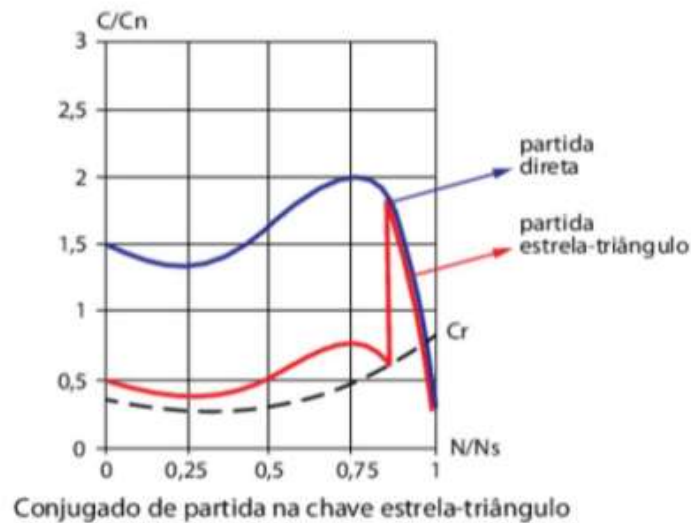
Nessa partida, o que efetivamente acontece é que a tensão aplicada nas bobinas do motor durante a partida é de que $V = \frac{V_{\text{Linha}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$ e, como consequência, a corrente de partida (na pior das hipóteses) é, de aproximadamente, $I_p = (8 \times I_n)/3 = 70 \text{ A}$;

- b) o custo é relativamente baixo em relação a outras partidas;
- c) o espaço ocupado pelos componentes é pequeno; e
- d) não há limite máximo de manobras.

São características relevantes que pesam contra a sua escolha:

- a) o conjugado do motor cai numa relação quadrática em relação à tensão, ou seja, o conjugado cai em, aproximadamente, a 1/3 do conjugado nominal durante a partida.

A figura a seguir mostra essa relação.



- b) se o motor não atingir pelo menos 90% da sua velocidade nominal na sua comutação, o pico de corrente resultante terá quase a mesma amplitude que a do motor de uma partida direta;
- c) o motor precisa ter pelo menos 6 pontas; e
- d) o valor da tensão da rede deve coincidir com a menor tensão de placa do motor.

Devido à intensa diminuição do conjugado de partida, esse tipo de acionamento estrela-triângulo é adotado apenas em sistemas nos quais a carga apresenta um baixo conjugado resistente de partida, como é o caso do ventilador do túnel de vento.

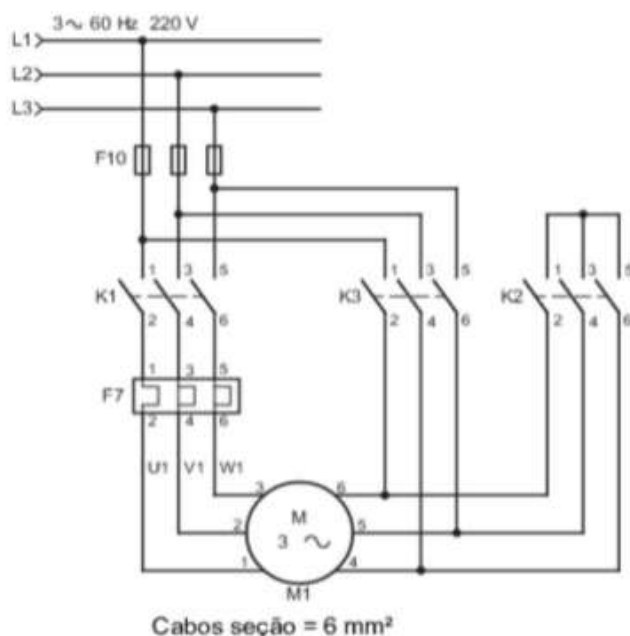
Analizando-se os prós e contras da adoção desse modelo de acionamento, conclui-se que ele é perfeitamente adequado para aplicação. Principalmente porque ele não apresenta nenhum impedimento técnico e sua complexidade de implementação é mediana, a um custo relativamente baixo.

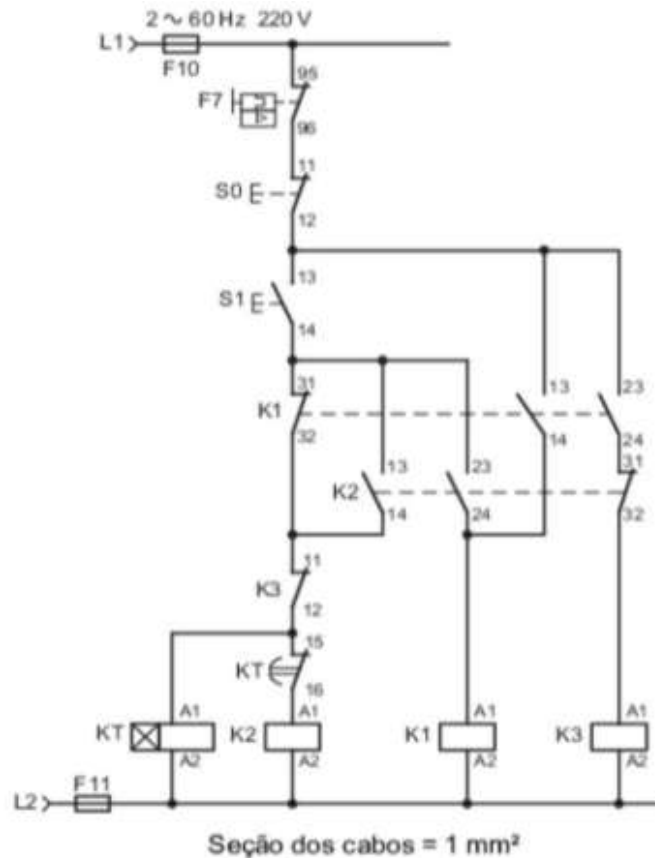
O circuito de acionamento estrela-triângulo é composto por um bloco de potência e um bloco de comando da mesma forma que o acionamento por partida direta. A diferença básica é que no acionamento por estrela-triângulo o motor opera em estrela por um determinado tempo (que chamamos de fase 1) e, em seguida, passa para o modo triângulo (que chamamos de fase 2). Vamos entender melhor como isso ocorre.

Fases da partida estrela-triângulo:

Fase 1: O motor opera com o fechamento das bobinas do motor em estrela. Uma tensão com 58% da tensão nominal é aplicada no motor até a velocidade rotórica atingir, aproximadamente, 90% da velocidade nominal.

Fase 2: Aos 90% da velocidade nominal, aproximadamente, um circuito comuta a tensão reduzida aplicada ao motor para a tensão nominal. Veja a implementação dessas características mais os requisitos solicitados na especificação de entrada do projeto, no diagrama a seguir.





Características gerais do circuito:

O circuito de partida estrela-triângulo apresenta as seguintes características:

- a) contém proteção contra curto-circuito por meio dos fusíveis tipo gM;
- b) possui disparador térmico ajustável para proteção contra sobrecargas por meio do relé de sobrecarga;
- c) permite operação automática/remota, por meio do contator;
- d) tem elevada vida útil devido à utilização do contator para manobra;
- e) é aplicável a motores que partem a vazio ou a cargas de baixa inércia.

Dimensionamento dos contadores K1 e K3:

Os contadores K1 e K3 são idênticos, pois eles operam simultaneamente no 2º estágio, durante o qual as bobinas do motor estão fechadas em triângulo (delta). A corrente que circula pelo contator é a corrente de fase do motor e vale:

$$I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = \frac{26,6}{\sqrt{3}} = 15,36 \text{ A}$$

Onde:

$I_L = I_n \rightarrow$ corrente nominal do motor e vale 26,6 A (conforme especificação do motor);

I_f = corrente de fase do motor (fechado em triângulo).

Dessa forma, a corrente mínima do contator deve ser $I_{ctm} \geq I_f$

$$I_f = I_{ctm} = 15,3 \text{ A}$$

Para dimensionar e codificar o contator de acordo com o código do fabricante, vamos utilizar sua corrente mínima, $I_{ctm} = 15,3 \text{ A}$, e seguir o mesmo procedimento aplicado no acionamento de partida direta (para a codificação do componente), da mesma forma que aprendeu neste mesmo capítulo.

Dimensionamento do contator K2:

O contator K2 na partida estrela-triângulo só entra em operação no momento da partida, no 1º estágio, durante o qual os enrolamentos estão fechados em estrela. Nesse momento, a corrente está reduzida a 33 % da corrente nominal. Dessa forma, a corrente que passa pelos contatos do contator, vale $I = I_n \times 0,33 = 26,6 \times 0,33 = 8,78 \text{ A}$.

Assim sendo, a corrente usada para dimensionar o contator é: $I_{ctm} = 1,1 \times I = 1,1 \times 8,78 = 9,66 \text{ A}$.

Para dimensionamento e codificação do contator, vamos utilizar a corrente $I_{ctm} = 9,66 \text{ A}$. Com esse parâmetro, para determinar o código do componente por meio do catálogo, você pode seguir o mesmo procedimento utilizado no acionamento de partida direta, como aprendeu neste mesmo capítulo.

Chegou o momento de especificar o relé térmico da partida estrela-triângulo.

Especificando o relé térmico:

A corrente do relé térmico utilizada para o dimensionamento é a corrente de regime do motor, ou seja, quando o 2º estágio é ativado no acionamento, momento esse em que os enrolamentos do motor são fechados em triângulo. A corrente de fase das bobinas do motor é utilizada como referência para o cálculo do dispositivo. Essa corrente foi calculada anteriormente e vale: $I_f = 15,3 \text{ A}$.

Para calcular a corrente do relé térmico (IRT) é utilizado o seguinte procedimento:

Para o $FS < 1,15$, a corrente de ajuste do relé térmico vale: $I_{FRT} = 1,15 * I_f$

Para o $FS \geq 1,15$, a corrente de ajuste do relé térmico vale: $I_{FRT} = 1,25 * I_f$

Conforme a especificação do motor, o fator de serviço do motor vale $FS = 1,15$. Então, para calcular a corrente de ajuste do relé térmico basta aplicar a fórmula: $I_{FRT} = 1,25 \times 15,3 \rightarrow I_{FRT} = 19,1 \text{ A}$.

Para especificar e obter o código do fabricante do relé térmico, vamos utilizar a corrente de ajuste do relé térmico de valor $I_{FRT} = 19,1 \text{ A}$. Com esse parâmetro, você deve seguir o mesmo procedimento utilizado no acionamento de partida direta, como já aprendeu e que se encontra neste mesmo capítulo.

Para finalizar o dimensionamento do circuito de potência, é preciso agora dimensionar os fusíveis. É o que veremos a seguir.

Dimensionamento dos fusíveis:

Os fusíveis no sistema de partida de motores têm a função de proteger o circuito como um todo, incluindo os cabos e os dispositivos (contator, relé térmico e motor).

Os fusíveis utilizados são do tipo retardado porque a carga é indutiva e os parâmetros utilizados para o seu dimensionamento são: o **tempo de partida do motor** (T_p) e a **corrente de pico do motor** (I_p).

Para o acionamento com partida estrela-triângulo, você utiliza $T_p = 5 \text{ s}$ e $I_p = (8 \times I_n)/3 = (8 \times 26,6)/3 = 70 \text{ A}$ (conforme a especificação do motor no projeto). Para dimensionar e especificar o código do fabricante, você deve utilizar esses dados e seguir todo o procedimento do acionamento em partida direta para o dimensionamento do fusível, conforme já aprendeu neste capítulo.

Agora que você já tem capacidades técnicas para dimensionar o acionamento de partida direta e estrela-triângulo chegou o momento de vencer um novo desafio: **fazer o dimensionamento de um acionamento com partida compensada.**