

4.4 SISTEMA DE PARTIDA DE MOTORES

Devido às suas características, os motores de indução compõem a grande maioria dos motores utilizados no parque industrial. Sendo assim, é de fundamental importância conhecer seu funcionamento.

Esses motores apresentam grandes vantagens e algumas desvantagens. Uma dessas desvantagens está associada aos instantes iniciais em que o motor é acionado. A partida e a aceleração são, respectivamente, os períodos inicial e transitório do motor, aos quais estão associados alguns dos maiores problemas no acionamento elétrico.

Quando o motor é ligado à rede elétrica, o motor recebe a plena tensão de alimentação e absorve uma corrente inicial muito elevada; chega a ser o equivalente a várias vezes a corrente nominal do motor, podendo alcançar valores que variam entre 4 a 8 vezes essa corrente.

À medida que o motor vai acelerando, esse surto de corrente inicial vai diminuindo progressivamente até chegar ao valor de regime (corrente nominal). Essa elevada corrente inicial, que está diretamente associada ao tempo de aceleração do motor, é chamada de **corrente de partida**.

Essa corrente elevada de partida pode provocar alguns problemas. São eles:

1) **No motor:**

- a) forte aquecimento num tempo muito curto;
- b) dilatação dos anéis de curto-circuito e deformação das barras da gaiola, devido ao calor;
- c) esforços eletrodinâmicos entre as espiras das bobinas dos enrolamentos, pois elas se atraem e se repelem, causando atrito, fadiga e abrasão, o que danifica a isolação;
- d) atuação indevida dos dispositivos de proteção, se o tempo de aceleração for muito alto.

2) Na máquina acionada e no sistema de transmissão:

- a) choque mecânico nos componentes de transmissão, devido ao conjugado resistente de partida. Exemplo: um sistema de transmissão com múltiplas correias e polias pode deslizar sob a ação de um conjugado muito elevado;
- b) aceleração muito rápida, devido a um alto conjugado de partida, pode causar algum problema no produto. Exemplo: em máquinas têxteis existe um limite de aceleração; caso este limite seja ultrapassado, pode causar danos aos fios delicados do tecido.

3) Na rede elétrica e nas instalações:

- a) como os aparelhos eletrônicos são muito sensíveis a variações de tensões da rede, motores instalados na rede elétrica podem causar grandes variações de tensão na rede no momento da partida;
- b) alguns dispositivos são muito sensíveis a variações de tensão na rede. Podemos citar, em especial, as lâmpadas de vapor de sódio e as lâmpadas de vapor de mercúrio, pois, quando submetidas a grandes variações de tensão, elas cintilam.
- c) possível desligamento de outros motores devido ao desligamento de seus contadores, dispositivos esses que têm limites de tensão de operação;
- d) redução momentânea dos conjugados dos motores ligados à rede elétrica, pois, o conjugado varia numa relação quadrática em relação à tensão de alimentação.

Decorrentes dos problemas causados pelas partidas dos motores de indução, as partidas são classificadas em diretas e indiretas.

- **A partida direta** é o tipo de acionamento de motores de indução, em que o motor é acionado quando ligado na rede elétrica com a sua tensão nominal.
- **A partida indireta** é um tipo de acionamento de motor de indução que visa minimizar os efeitos danosos que ocorrem no momento da partida. Para isso, algumas técnicas são utilizadas: partida estrela-triângulo, partida compensada, partida com *soft-starter*, entre outras.

4.4.1 DIMENSIONAMENTO DE UMA PARTIDA DIRETA

Vamos supor que você foi contratado por uma empresa de projetos. A empresa recebeu uma encomenda de um projeto de um triturador de papel. Toda a especificação foi concluída pelo setor de engenharia, assim como o projeto mecânico. Faltava apenas fazer o projeto do comando elétrico e essa atividade foi destinada a você. O engenheiro enviou-lhe a seguinte especificação técnica:

A especificação técnica do projeto de um comando elétrico de um triturador de papel é composta por:

1) Sistema de alimentação

Sistema trifásico a quatro fios (L1, L2, L3, N) e terra (PE), tensão de fase-fase de 220 V.

2) Características do motor utilizado

- a) motor de indução, modelo W21;
- b) potência: 3 cv;
- c) tensão/frequência: 220/380 V - 60 Hz;
- d) quatro polos;
- e) tempo de partida: 6 s;
- f) fator de serviço (FS): 1,15;
- g) corrente nominal (I_n): 6,8 A;
- h) I_p/I_n : 8,7.

3) Requisitos de projeto

- a) botão de partida;
- b) botão de parada de emergência;
- c) proteção contra curto-circuito e sobrecarga;
- d) desligamento automático na condição de sobrecarga;
- e) em caso de desacionamento por sobrecarga, o acionamento seguinte deve ser manual;
- f) lâmpada de sinalização ligada, para motor acionado.

4.4.2 ANÁLISE DO PROJETO

Você já tem todas as informações de entrada de projeto para construir o comando elétrico para essa máquina de tritar papel. Já estudou, no livro sobre manutenção elétrica, os diversos modelos de acionamento de motores: partida direta, partida estrela-triângulo, partida compensadora, partida por *soft-starter* e outros.

Vamos apresentar como especificar os componentes destes tipos de acionamento de motores. Completando este estudo, o dimensionamento de cabos é tratado na Unidade Curricular Projetos Prediais. Então começaremos pela partida direta.

Para que você possa avaliar a opção da partida direta, é necessário relembrar algumas de suas características que são:

- a) gera correntes de partidas da ordem de 4 a 8 vezes a corrente nominal;
- b) possui alto conjugado (torque) de partida da ordem de $2,5 \times C_n$ (conjugado nominal);
- c) demanda baixo custo de implementação;
- d) é aplicada em motores de indução de até 5 cv;
- e) tem um rápido tempo de partida; e
- f) necessita de superdimensionamento da instalação elétrica para suportar a corrente de partida.

Como você está trabalhando em uma empresa privada, para a qual o fator custo é relevante e, como a potência do motor usado está abaixo do limite máximo de 5 cv, as outras características são admissíveis. Diante deste contexto, a opção da partida direta mostra-se mais adequada para esta aplicação.

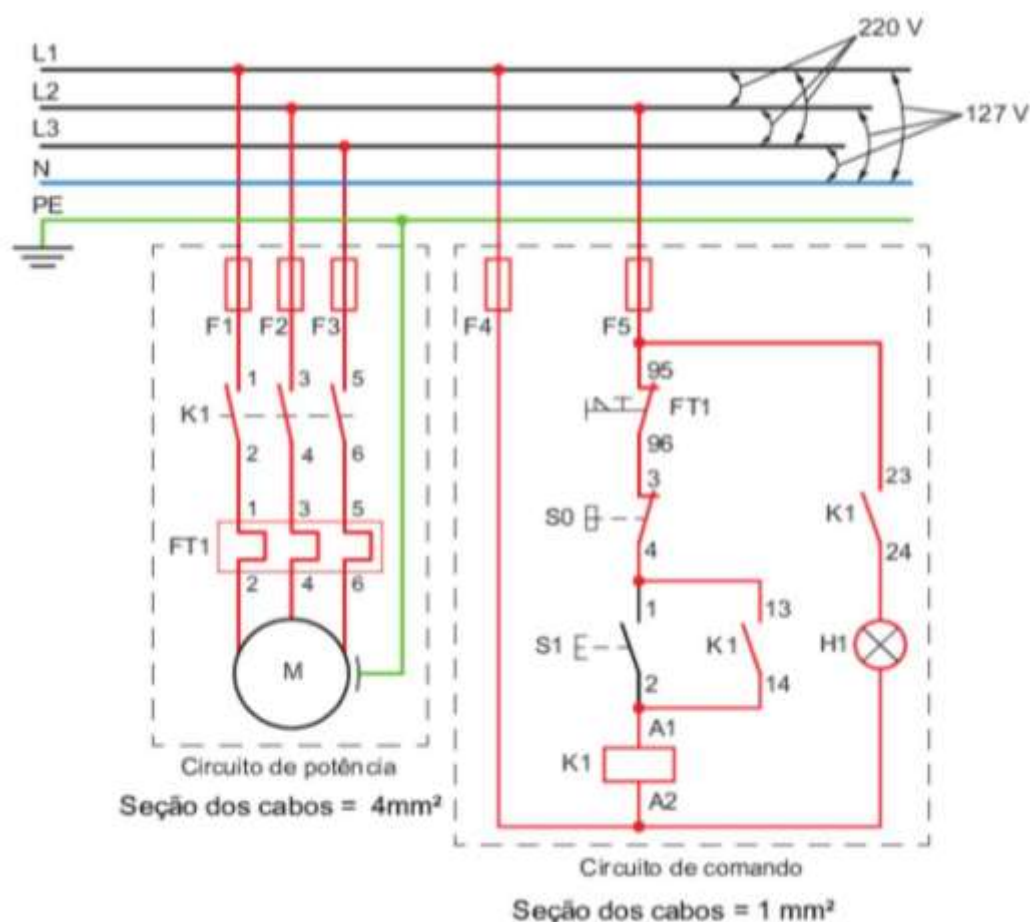
Agora chegou o momento de projetar a partida direta para o triturador de papel. Você já conheceu esse tipo de acionamento de motores de indução por partida direta, quando estudou o livro sobre manutenção industrial, no capítulo 2. Vamos resgatar um pouco desses conhecimentos.

O circuito de acionamento de partida direta é composto por um circuito de potência, também conhecido como circuito principal, e o circuito de comando.

O circuito de potência tem a função básica de ligar e desligar o motor e utiliza como dispositivo principal o contator. Nesse mesmo circuito, são incluídas a proteção contra curto-circuito e a proteção contra a sobrecarga do motor.

O circuito de comando tem a função básica de controlar o circuito de potência, controlar as sinalizações, os temporizadores e outros.

A figura a seguir mostra o diagrama elétrico de um acionamento de partida direta.



Agora é o momento de dimensionar cada um dos dispositivos da partida direta do circuito de potência. Inicialmente vamos dimensionar o relé de sobrecarga.

4.5 DIMENSIONAMENTO DO RELÉ DE SOBRECARGA

A função desse dispositivo, também conhecido como relé térmico, é a de proteger o motor do sobreaquecimento. Para especificar o relé de sobrecarga, precisamos conhecer os valores dos parâmetros da corrente nominal (I_n) do motor e o fator de serviço (FS).

Esses valores foram fornecidos na especificação e valem respectivamente: $I_n = 6,8 \text{ A}$ e $FS = 1,15$. Então, a partir deles, aplicamos o seguinte procedimento:

Para o $FS < 1,15$, aplica-se a fórmula, $IFRT = 1,15 * I_n$

Para o $FS \geq 1,15$, aplica-se a fórmula, $IFRT = 1,25 * I_n$

Onde:

- **IFRT** é a corrente de ajuste do relé sobrecarga; e
- **I_n** é a corrente nominal do motor.

A corrente de ajuste do relé de sobrecarga vale:

$$IFRT = 1,25 \times 6,8 \rightarrow IFRT = 8,5 \text{ A}$$

Os relés de sobrecargas são geralmente fabricados com algumas das seguintes características: faixa de ajuste de corrente de atuação, botão de teste, entre outros.

Vamos, então, escolher o relé de sobrecarga da família RW. Veja a seguir a ilustração do dispositivo.



Figura 34 - Ilustração de um dos modelos do relé térmico da família RW
Fonte: Catálogo da WEG

O relé térmico dessa família apresenta três contatos de potência e dois contatos auxiliares. A seguir é mostrada sua representação simbólica.

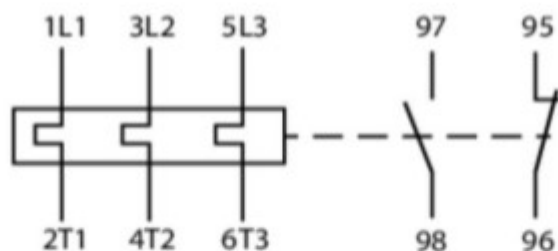


Figura 35 - Representação simbólica do relé térmico (relé de sobrecarga)
Fonte: SENAI-SP (2014)

Chegou o momento de escolher o relé térmico por meio do catálogo do fabricante. A seguir, é apresentada uma tabela com alguns dispositivos da família RW, para que possamos selecionar a opção que melhor atenda aos requisitos do projeto.

Tabela 8 - Lista de relés de sobrecarga

| MONTAGEM DIRETA AOS MINICONTADORES E CONTADORES | FAIXAS DE CORRENTE (A) | FUSÍVEL MÁXIMO PARA COORDENAÇÃO TIPO 2 (gL/gG) | REFERÊNCIA |
|---|------------------------|--|---------------|
| CW07, CWC07...16 | 0,28...0,4 | 2 | RW17-1D3-D004 |
| CW07, CWC07...16 | 0,4...0,63 | 2 | RW17-1D3-C063 |
| CW07, CWC07...16 | 0,56...0,8 | 2 | RW17-1D3-D008 |
| CW07, CWC07...16 | 0,8...1,2 | 4 | RW17-1D3-D012 |
| CW07, CWC07...16 | 1,2...1,8 | 6 | RW17-1D3-D018 |
| CW07, CWC07...16 | 1,8...2,8 | 6 | RW17-1D3-D028 |
| CW07, CWC07...16 | 2,8...4 | 10 | RW17-1D3-U004 |
| CW07, CWC07...16 | 4...6,3 | 16 | RW17-1D3-D063 |
| CW07, CWC07...16 | 5,6...8 | 20 | RW17-1D3-U008 |
| CW07, CWC07...16 | 7...10 | 25 | RW17-1D3-U010 |
| CWC07...16 | 8...12,5 | 25 | RW17-1D3-D125 |
| CWC07...16 | 10...15 | 35 | RW17-1D3-U015 |
| CWC07...16 | 11...17 | 40 | RW17-1D3-U017 |
| CWC025 | 7...10 | 25 | RW17-2D3-U010 |
| CWC025 | 8...12,5 | 25 | RW17-2D3-D125 |
| CWC025 | 10...15 | 35 | RW17-2D3-U015 |
| CWC025 | 11...17 | 40 | RW17-2D3-U017 |
| CWC025 | 15...23 | 50 | RW17-2D3-U023 |

| | | | |
|-----------|-------------|----|---------------|
| CWC025 | 22...32 | 63 | RW17-2D3-U032 |
| CWM9...40 | 0,28...0,4 | 2 | RW27-1D3-D004 |
| CWM9...40 | 0,43...0,63 | 2 | RW27-1D3-C063 |
| CWM9...40 | 0,56...0,8 | 2 | RW27-1D3-D008 |
| CWM9...40 | 0,8...1,2 | 4 | RW27-1D3-D012 |
| CWM9...40 | 1,2...1,8 | 6 | RW27-1D3-D018 |

Fonte: Catálogo da WEG

Na tabela acima, é possível identificar que as opções de faixa de corrente se sobrepõem nos valores extremos. Assim, a recomendação é escolher o modelo em que a corrente de ajuste calculada esteja o mais próximo possível do centro da faixa de corrente do dispositivo. Em nosso projeto, a corrente de ajuste do relé térmico calculado foi $IFRT = 8,5 \text{ A}$. Consultando a tabela identificamos a opção de faixa demonstrada abaixo.

Tabela 9 - Escolha do relé adequado

| MONTAGEM DIRETA AOS MINICONTADORES E CONTADORES | FAIXAS DE CORRENTE (A) | FUSÍVEL MÁXIMO PARA COORDENA- ÇÃO TIPO 2 (gL/gG) | REFERÊNCIA |
|---|---------------------------|--|---------------|
| CW07, CWC07...16 | 0,28...0,4 | 2 | RW17-1D3-D004 |
| CW07, CWC07...16 | 0,4...0,63 | 2 | RW17-1D3-C063 |
| CW07, CWC07...16 | 0,56...0,8 | 2 | RW17-1D3-D008 |
| CW07, CWC07...16 | 0,8...1,2 | 4 | RW17-1D3-D012 |
| CW07, CWC07...16 | 1,2...1,8 | 6 | RW17-1D3-D018 |
| CW07, CWC07...16 | 1,8...2,8 | 6 | RW17-1D3-D028 |
| CW07, CWC07...16 | 2,8...4 | 10 | RW17-1D3-U004 |
| CW07, CWC07...16 | 4...6,3 | 16 | RW17-1D3-D063 |
| CW07, CWC07...16 | 5,6...8 | 20 | RW17-1D3-U008 |
| CW07, CWC07...16 | 7...10 | 25 | RW17-1D3-U010 |
| CWC07...16 | 8...12,5 | 25 | RW17-1D3-D125 |
| CWC07...16 | 10...15 | 35 | RW17-1D3-U015 |
| CWC07...16 | 11...17 | 40 | RW17-1D3-U017 |
| CWC025 | 7...10 | 25 | RW17-2D3-U010 |
| CWC025 | 8...12,5 | 25 | RW17-2D3-D125 |
| CWC025 | 10...15 | 35 | RW17-2D3-U015 |
| CWC025 | 11...17 | 40 | RW17-2D3-U017 |
| CWC025 | 15...23 | 50 | RW17-2D3-U023 |
| CWC025 | 22...32 | 63 | RW17-2D3-U032 |

| | | | |
|-----------|-------------|---|---------------|
| CWM9...40 | 0,28...0,4 | 2 | RW27-1D3-D004 |
| CWM9...40 | 0,43...0,63 | 2 | RW27-1D3-C063 |
| CWM9...40 | 0,56...0,8 | 2 | RW27-1D3-D008 |
| CWM9...40 | 0,8...1,2 | 4 | RW27-1D3-D012 |
| CWM9...40 | 1,2...1,8 | 6 | RW27-1D3-D018 |

Fonte: Catálogo da WEG

Considerando-se as informações contidas na tabela, devemos, então, selecionar o tipo de montagem do dispositivo, a faixa de corrente de operação, a referência de compra do componente e também a corrente do fusível de proteção recomendado para o sistema de potência.

Veja a seguir a especificação do relé térmico FT1 de acordo com a tabela:

- faixa de corrente de operação: 7 a 10 A;
- corrente máxima do fusível de proteção recomendado: IFRT= 25 A;
- código de compra do relé térmico de um determinado fabricante: **RW17 – 1D3 – U010**

Agora que você já sabe dimensionar o relé térmico em um acionamento de partida direta, vamos, a seguir, calcular mais um elemento do circuito de potência: o contator.

4.5.1 DIMENSIONAR O CONTATOR

Você já teve a oportunidade de aprender sobre contatores no livro sobre instalações industriais, no capítulo 4. Vamos relembrar as suas principais características.

Os contatores (relés eletromagnéticos industriais) são chaves eletromagnéticas, destinadas a ligar e desligar cargas elétricas (tipo lâmpadas, motores, válvulas, entre outras cargas). A grande vantagem desse dispositivo está associada à segurança, permitindo o seu acionamento remoto.

Os contatores são fabricados em diversos tipos, um deles baseado no tipo de utilização, e estão de acordo com a norma IEC 158-1.

Esta norma estabelece a categoria de emprego para utilização de contadores em categorias, essencialmente divididas em duas: aplicação em corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC).

Basicamente elas dependem do tipo de carga que está sendo controlada (acionada) e a forma como essa carga é acionada. Veja a seguir uma descrição de cada categoria:

AC1

Aplica-se a todos os aparelhos de corrente alternada com fator de potência maior do que 95%. Nesta situação, a corrente elétrica do fechamento e da abertura do contator é igual à corrente nominal da carga, visto que não há transitórios.

AC2

Esta categoria é utilizada para sistemas de frenagem em contracorrente e para acionamentos a impulsos em motores de anéis. Ao ser fechado, o contator estabelece uma corrente próxima a 2,5 vezes a corrente nominal do motor. Na abertura, ele deve ser capaz de abrir a corrente nominal do motor em tensão próxima à da rede.

AC3

Abrange os motores de indução de gaiola cuja interrupção se efetua com o motor em regime. No fechamento, o contator deve suportar a corrente de partida do motor que gira em torno de 4 a 8 vezes a corrente nominal. Na abertura, ele interrompe a corrente nominal do motor sob uma tensão de, aproximadamente, 20% da tensão nominal da rede.

Essa categoria é utilizada em: elevadores, escadas rolantes, correias transportadoras, compressores de todos os tipos, bombas, misturadores, climatizadores, entre outros.

Em geral, qualquer aplicação feita com motores de indução trabalha neste regime.

AC4

Esta classe diz respeito aos sistemas de frenagem por contracorrente e sistemas de partida por impulsos em motores tipo gaiola ou de anéis. O contator fecha sob um pico de corrente da ordem de 4 a 8 vezes a corrente nominal do motor

e, quando ele abre, interrompe uma corrente de mesma magnitude e de tensão tanto maior quanto for a velocidade do motor. Esta tensão pode ser igual à tensão da rede, portanto, o desligamento é severo e exige muito do contator.

Exemplos de aplicação: máquinas de impressão, trefiladeiras, levantamento de cargas e outros.

DC1:

Os contadores da categoria DC1 destinam-se a operar cargas não indutivas ou pouco indutivas.

DC3:

Os contadores da categoria DC3 destinam-se a operar motores CC com excitação independente: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica (processo de redução de velocidade de motor).

DC5:

Os contadores da categoria DC5 destinam-se a operar motores CC com excitação série: partindo, em operação contínua ou em chaveamento intermitente. Frenagem dinâmica.

Em nosso projeto, o contator deve acionar um motor de indução do tipo gaiola de esquilo. De acordo com a norma, o contator a ser utilizado deve ser do tipo categoria "AC3".

Vamos ver a seguir como se faz o dimensionamento do contator do circuito de potência.

Dimensionamento do contator do circuito de potência

A função básica desse dispositivo, na partida direta, é inserir e retirar a alimentação do motor. Para especificar o componente, um parâmetro deve ser conhecido. No caso, é a corrente nominal do motor (I_n) e o outro é o tipo de carga (no caso, o motor). Para chegarmos à especificação do contator, vamos aplicar o seguinte procedimento:

- 1) Para determinar a corrente mínima do contator, aplica-se a seguinte fórmula:

$$I_{ctm} = 1,1 \times I_n$$

Onde:

- I_{ctm} é a corrente mínima do contator; e
- I_n é a corrente nominal do motor.

A corrente nominal (I_n) do motor está disponível na especificação do projeto e vale 6,8 A. Para conhecer a corrente mínima do contator (I_{ctm}), é preciso aplicar a fórmula acima descrita.



$$I_{ctm} = 1,1 \times I_n = 1,1 \times 6,8$$

$$I_{ctm} = 7,48 \text{ A (corrente mínima para especificar o contator)}$$

Vamos conhecer uma tabela com a especificação técnica de alguns contatores, de um determinado fabricante. Veja abaixo um exemplar (para melhor visualização consulte o Anexo 3).

Tabela 10 - Dados técnicos de contatores CWC07 a CWC25

CONTADORES


| | | CWC07 | CWC09 | CWC012 | CWC016 | CWC025 |
|---|----------------------------|---|-------|--------|--------|---|
| | | CA/CC: 10/01 (4 pólos): 2P/2N= 00-22 ou 4P= 00-40 | | | | CA: 00 |
| | |  | | | |  |
| AC-3 | I_n máx. (Ue ≤ 440V) [A] | 7 | 9 | 12 | 16 | 25 |
| | Potência 60Hz | 220V cv | 3 | 4 | 6 | 8,7 |
| | | 380V cv | 4 | 5 | 7,5 | 16,8 |
| | | 440V cv | 5 | 6 | 7,5 | 16,8 |
| | | 690V cv | 5 | 6 | 7,5 | 16,8 |
| | Man. / hora a plena carga | 600 | | | | |
| AC-4 30 máx. (Ue ≤ 440V) | A | 2,8 | 3,5 | 4,5 | 5 | 9 |
| AC-1 Carga resistiva $I_n = I_{ca}$ | A | 18 | 26 | 32 | 32 | 35 |
| Fusível máximo (gG/gG) | A | 20 | 20 | 25 | 35 | 50 |
| Dimensões (Larg./Alt./Prof.) | mm | 45/58/53 | | | | 45/58/60 |
| Peso CA/CC | kg | (CA) 0,181 / (CC) 0,198 | | | | 0,200 |
| Contatos auxiliares | Integrado | -1 G/01 | | | | - |
| | Montagem frontal | BFC0-20, BFC0-11, BFC0-02, BFC0-09, BFC0-22, BFC0-04, BFC0-31, BFC0-13, BFC025-11, BFC025-20, BFC025-02 | | | | |
| Bloco Antipânico (Supera-Sobrecargas) | RC (30/60Hz) | RCC0-1 D49, RCC0-2 D53, RCC0-3 D55, RCC0-4 D63, RCC0-5 D84, RCC0-6 D73 | | | | |
| | Variador (CA/CC) | VR03-1 E1, VR03-3 E34, VR03-3 E38, VR03-4 E41, VR03-5 D73 | | | | |
| | Diodo (CC) | DIE0-1 C13 | | | | |
| Intertravamento Mecânico (Montagem frontal) | | BRC0 | | | | |
| Jogos de Contatos Principais (reposição) | | CA: JCC09-3P10 ou JCC09-3P01 / CC: JCC09-3P10 ou JCC09-3P01 | | | | |
| Bobinas (reposição) | | BRC-016 | | | | |
| | | BRC-025 | | | | |

Fonte: Catálogo da WEG de "Contatores e Relés de Sobrecarga"

Então, para especificar o contator, vamos usar as seguintes informações:

- corrente nominal mínima do contator: 7,48 A;
- tipo de utilização: AC3 (definido anteriormente);
- tensão aplicada à bobina: 220 V (tirado do diagrama elétrico);
- Número de contatos: três contatos de potência e, no mínimo, dois contatos auxiliares NA.

Tabela 11 - Dados técnicos de contadores CWC07 e CWC09

| | | CWC07 | CWC09 | CWC012 |
|-----------------------------------|--|---|-------|--------|
| | | CA/CC: 01/01 (4pólos): 2P/2R= -00-22 ou 4 | | |
| | |  | | |
| AC-3 | I _e máx. (U _e ≤ 440V) (A) | 7 | 9 | 12 |
| | Potência 60Hz | 220V cv | 2 | 3 |
| | | 380V cv | 4 | 5 |
| | | 440V cv | 5 | 6 |
| | | 690V cv | 5 | 6 |
| | Man./hora a plena carga | | | 60 |
| AC-4 | I _e máx. (U _e ≤ 440V) (A) | 2,8 | 3,5 | 4,5 |
| AC-1 | Carga resistiva I _e = I _{cs} (A) | 18 | 20 | 22 |
| Fusível máximo (g/L/gG) | | 20 | 20 | 25 |
| Dimensões (Larg./Alt./Prof.) (mm) | | 45/58/52 | | |
| Peso CA/CC (kg) | | (CA) 0,18 / (CC) 0,198 | | |

Fonte: Catálogo WEG "Contadores e Relés de Sobrecarga", adaptada

Dados tirados da tabela acima, a respeito do contator selecionado:

- a) contator da família: CWC9;
- b) corrente máxima que ele suporta: 9 A; e
- c) fusível máximo de proteção do contator recomendado: IFCT = 20 A.

Agora vamos montar o código do componente, conforme os requisitos do fabricante. Não podemos nos esquecer de que nesse código deve constar a informação de número de contatos auxiliares, que, de acordo com o projeto, são dois contatos do tipo NA. Vamos ver a seguir o código, de acordo com o fabricante.

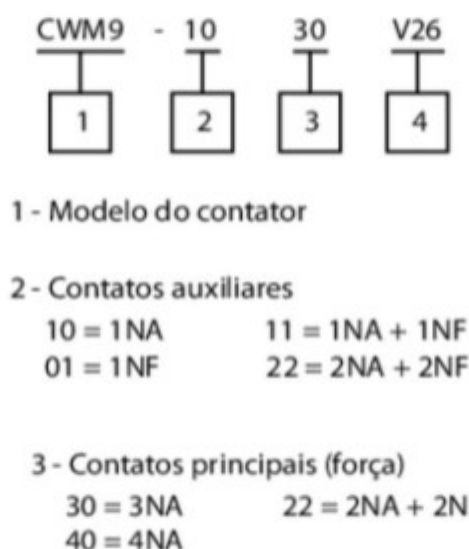


Figura 36 - Padrão de codificação do contator, conforme um fabricante
Fonte: SENAI-SP (2014)

Seguindo o modelo acima para montagem do código do contator, temos a seguinte codificação para requisição do contator do fabricante, de modo a atender à especificação do projeto: **CWC09 -22 30 V26**.

Agora você já sabe dimensionar o **relé térmico** e o **contator** do circuito de potência. Está faltando apenas dimensionar os fusíveis (F1, F2 e F3) do circuito de potência. Veja a seguir como se faz.

Dimensionamento dos fusíveis do circuito de potência

Você já estudou e aprendeu sobre fusíveis DIAZED, NH e outros, no livro sobre instalações elétricas prediais, então, já é capaz de identificar os diversos tipos de fusíveis e conhece sua funcionalidade e principais características.

Para dimensionar os fusíveis (F1, F2 e F3) do circuito de potência, é necessário que o fusível escolhido atenda a **quatro critérios**. São eles:

1) Primeiro critério:

A corrente de pico que o fusível (I_{pf}) suporta deve ser maior ou igual à corrente de pico do motor (I_p) que, matematicamente, pode ser escrita como:

$$I_{pf} \geq I_p$$

A corrente de pico do motor (I_p) pode se obtida por meio de um dado da especificação do motor, obtido pela expressão $I_p/I_n = \text{"valor"}$ onde "valor" é um dado numérico que depende das características construtivas do motor e " I_n " é a corrente nominal do motor.

Para encontrar o valor da corrente de pico do motor (I_p), aplique a seguinte fórmula:

$$I_p = I_n \times \text{"Valor"}$$

$$I_p = 6,8 \times 8,7 = 59,16 \text{ A (corrente de pico do motor)}$$

A corrente de pico do fusível (**I_{pf}**) é obtida por meio da curva característica do fusível, fornecida pelo fabricante. A seguir, vamos mostrar como obter essa corrente graficamente.

Vamos levantar a corrente de pico do fusível *Diazed* por meio do gráfico do fusível, fornecido pelo fabricante em três fases:

Fase 1: é preciso ter em mãos o gráfico da curva do fusível.

Veja a seguir o gráfico com as curvas do fusível *Diazed*.

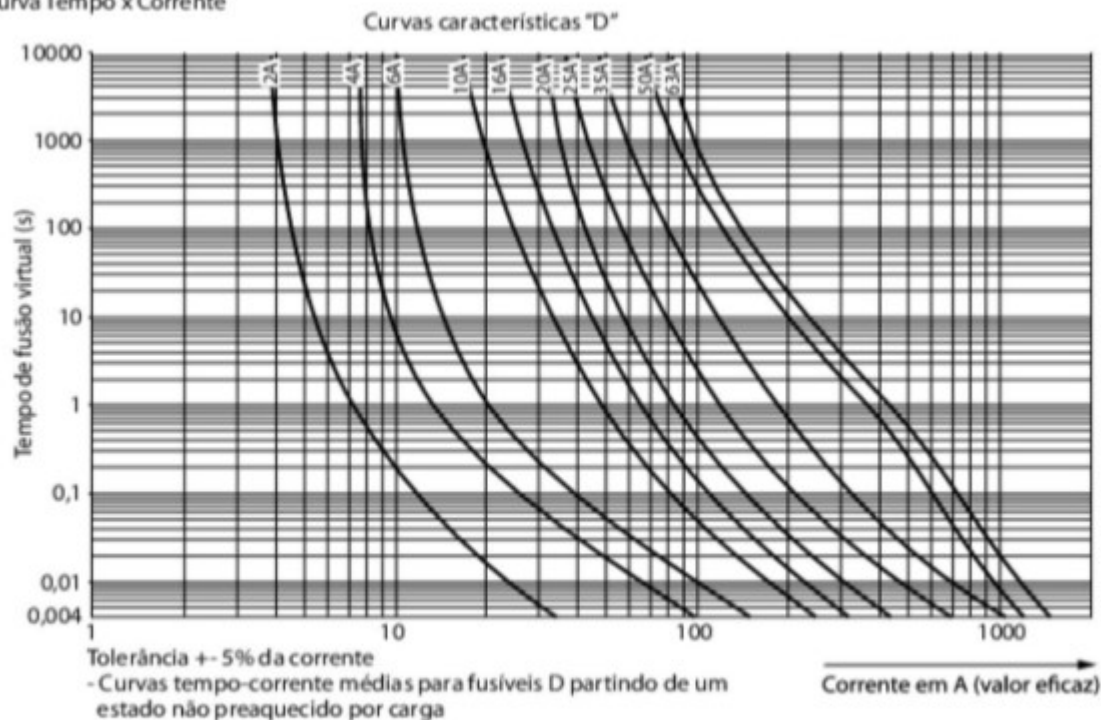


Figura 37 - Gráfico da curva característica do fusível Diazed
Fonte: SENAI-SP (2014)

Fase 2: nesta fase, deve-se marcar, no gráfico, o ponto da corrente de pico do motor (I_p), da seguinte forma:

- Marque, no eixo X do gráfico (corrente), o valor da corrente de pico do motor $I_p = 59,1$ e trace uma reta vertical.
- Marque, no eixo Y, o tempo de propagação do motor, $T_p = 6s$ (fornecido na especificação da entrada do projeto) e trace uma reta horizontal. No encontro dessas duas retas, marque o ponto "A".

No gráfico a seguir, você pode ver o resultado dessa operação.

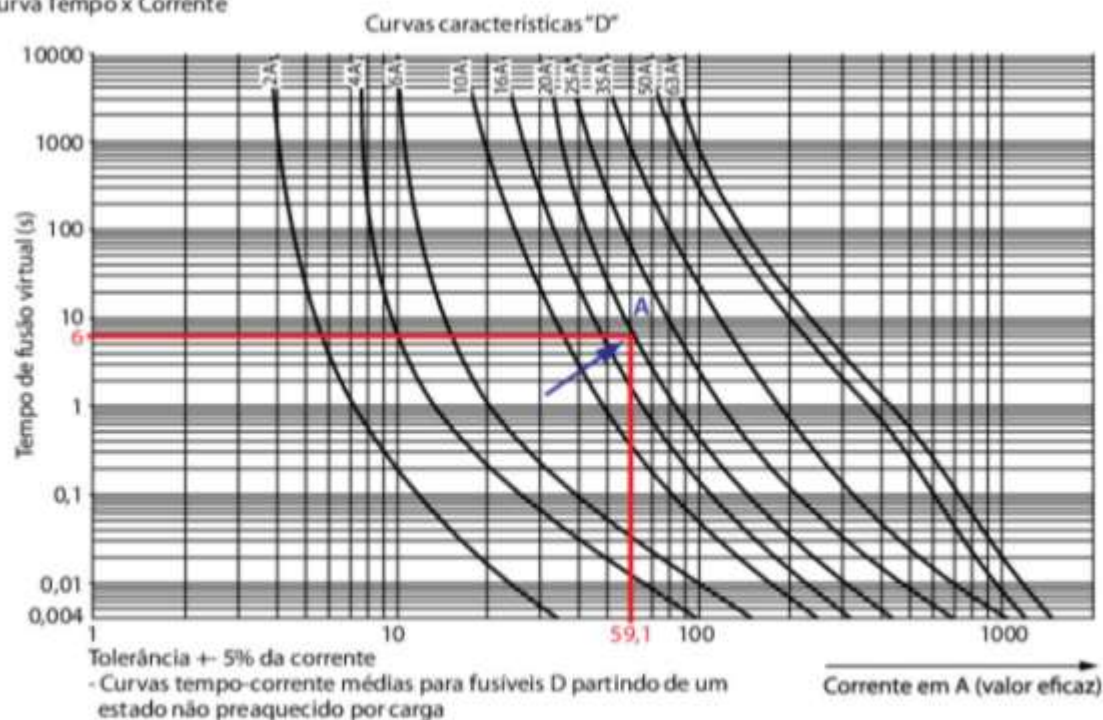


Figura 38 - Gráfico com o resultado da operação (fase 2)

Fonte: SENAI-SP (2014)

Fase 3: para determinar a corrente de pico do fusível (I_{pf}), desloca-se o ponto "A" para a direita, em paralelo com o eixo da corrente (I) do gráfico, até encontrar uma curva de corrente de um fusível. Nesse ponto de intersecção, marque o ponto "B"; em seguida, desse ponto, trace uma reta perpendicular ao eixo X (corrente). À direita do encontro dessas duas retas estará indicado o valor da corrente nominal do fusível (I_{pf}). Veja essa operação na figura a seguir.

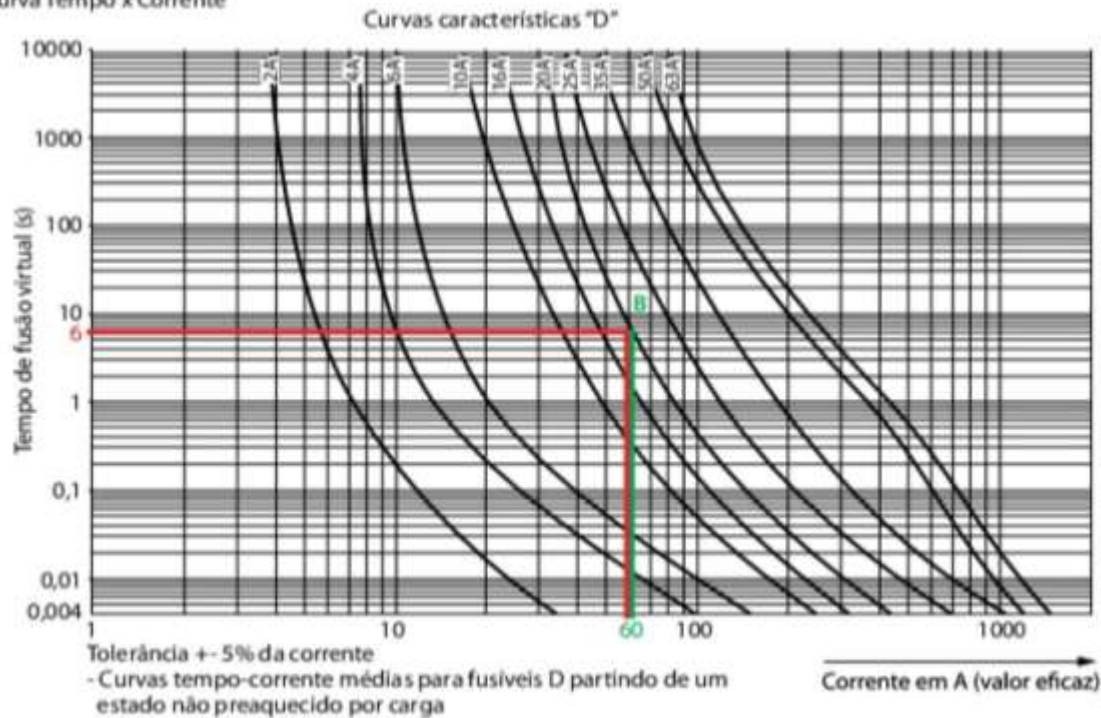


Figura 39 - Curva característica do fusível demarcado
Fonte: SENAI-SP (2014)

Após o término do levantamento dos pontos no gráfico do fusível, você obteve os seguintes dados:

- O valor da corrente de pico máximo $I_{pf} = 60 \text{ A}$;
- A curva do fusível, na qual a corrente nominal é de $I_n = 20 \text{ A}$.

Para verificar se o fusível de corrente $I_n = 20 \text{ A}$, obtido pelo gráfico, atende ao primeiro critério, basta substituir na fórmula $I_{pf} \geq I_p$, que são valores já conhecidos, e, em seguida, verificar se a relação é verdadeira.

Verificação:

$I_{pf} = 60$ e $I_p = 59,1$;

então, $I_{pf} \geq I_p \rightarrow 60 \geq 59 \text{ A} \rightarrow$ relação matemática verdadeira;

então, o primeiro critério foi atendido.

Constatando-se que o fusível escolhido atendeu ao primeiro critério, o passo seguinte é verificar se ele atende ao 2º critério.

1) Segundo critério:

O 2º critério tem por objetivo garantir que a corrente nominal do fusível (**Inf**) seja igual ou maior do que 20% acima da corrente nominal do motor (**In**). Esse requisito pode ser representado matematicamente pela fórmula:

$$Inf \geq 1,2 In$$

Sabemos que:

a) a corrente nominal do fusível é: $Inf = 20 \text{ A}$; e

b) a corrente nominal do motor é: $In = 6,8 \text{ A}$.

Substituindo-se os valores acima na fórmula, obteremos:

$$Inf \geq 1,2 In \rightarrow 20 \geq 8,16;$$

então, a relação matemática é verdadeira.

Verificando-se que o fusível escolhido atendeu ao segundo critério, o passo seguinte é verificar se ele atende ao 3º critério.

2) Terceiro critério:

O 3º critério busca proteger o relé térmico. Para isso, a corrente nominal do fusível (**Inf**) deve ser menor ou igual à corrente do fusível recomendado pelo fabricante do relé térmico (**IFRT**). Esse requisito pode ser representado, matematicamente, pela fórmula:

$$Inf \leq IFRT$$

Sabemos que:

a) a corrente nominal do fusível é: $Inf = 20 \text{ A}$; e

b) a corrente máxima do fusível de proteção recomendado é $IFRT = 25 \text{ A}$;

Substituindo-se os valores acima na fórmula obteremos:

$$Inf \leq IFRT \rightarrow 20 \leq 25;$$

então, a relação matemática é verdadeira.

Dessa forma, constatamos que o fusível escolhido atendeu ao terceiro critério. O passo seguinte é verificar se ele atende ao 4º critério.

3) Quarto critério:

O 4º critério busca proteger o contator. Para isso, a corrente nominal do fusível (I_{nf}) deve ser menor ou igual à corrente do fusível recomendado pelo fabricante do contator ($IFCT$). Esse requisito pode ser representado matematicamente pela fórmula:

$$I_{nf} \leq IFCT$$

Sabemos que:

- a) a corrente nominal do fusível é: $I_{nf} = 20 \text{ A}$; e
- b) a corrente máxima do fusível de proteção recomendado é: $IFCT = 20 \text{ A}$.

Substituindo-se os valores acima na fórmula obteremos:

$$I_{nf} \leq IFMCT \rightarrow 20 \leq 20;$$

então, a relação matemática é verdadeira.

Assim sendo, podemos dizer que o fusível escolhido atendeu ao quarto critério.

Dessa forma, os fusíveis (F1, F2 e F3) são *Diazed*s do tipo retardado e atendem aos requisitos de seletividade e pode ser utilizado no projeto.

Para ter acesso ao código do fabricante, você deve consultar o catálogo de fusíveis *Diazed*. Para isso, você pode entrar no *site* do fabricante e baixar o catálogo, com os seguintes dados:

- fusível *Diazed*, retardado do tipo gM; e
- corrente nominal 20 A.

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