Acionamento de Motores Elétricos

Acionamento de Motores Elétricos

Herbert Oliveira Guimarães

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente
Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica
Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Danielly Nunes Andrade Noé
Grasiele Aparecida Lourenço
Isabel Cristina Chagas Barbin
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica
Hugo Tanzarella Teixeira
Renato Billia de Miranda

Editorial
Camila Cardoso Rotella (Diretora)
Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)
Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)
Letícia Bento Pieroni (Coordenadora)
Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Guimarães, Herbert Oliveira
G963a Acionamento de motores elétricos / Herbert Oliveira Guimarães. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
256 p.

ISBN 978-85-522-0705-4

1. Engenharia. 2. Motores elétricos. I. Guimarães, Herbert Oliveira. II. Título.

CDD 620

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 — Londrina — PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: http://www.kroton.com.br/

Sumário

Unidade 1 | Princípios básicos de acionamentos 7

Seção 1.1 - Sistemas de acionamentos elétricos 9
Seção 1.2 - Efeito dos sistemas mecânicos nos acionamentos 27
Seção 1.3 - Características dos motores elétricos 45

Unidade 2 | Métodos de partida para acionamentos de motores elétricos 65

Seção 2.1 - Princípio de funcionamento das partidas de acionamentos 67
Seção 2.2 - Aplicação das partidas de acionamentos 88
Seção 2.3 - Aplicação de chaves de partidas 106

Unidade 3 | Projeto de acionamentos de motores elétricos 123

Seção 3.1 - Dispositivos de proteção para acionamentos de motores elétricos 125
Seção 3.2 - Dispositivos de comando para acionamentos de motores elétricos 145
Seção 3.3 - Projetos de acionamentos de motores elétricos 164

Unidade 4 | Princípios e funcionamentos de conversores de frequência 189

Seção 4.1 - Conversores de frequência 191
Seção 4.2 - Dimensionamento e características dos conversores de frequência 212
Seção 4.3 - Aplicação dos conversores de frequência 229

Palavras do autor

Prezado aluno, você já observou à sua volta a infinidade de máquinas e processos que utilizam os motores elétricos como propulsores de movimento? Por exemplo, há motores aplicados em esteiras para deslocamento de material, outros como parte rotacional de efetuadores instalados nas máquinas, movimentação orbital de braços mecatrônicos ou, na atualidade, sendo aplicados e aprimorados para movimentação dos carros elétricos.

Poderíamos criar uma lista com centenas de aplicações que se utilizam de motores elétricos. Ao invés disso, que tal explorarmos as competências e os recursos necessários para que você saiba analisar e desenvolver os acionamentos para esses motores elétricos?

Então, seja bem-vindo à disciplina Acionamento de Motores Elétricos.

Você será capaz de conhecer e identificar os principais tipos de sistemas de acionamentos de motores elétricos, aprendendo quais são os efeitos das cargas mecânicas sobre eles, bem como as características relevantes para instalação desses motores elétricos. Dessa forma, na Unidade 1 serão abordados esses conteúdos, consolidando as competências de identificação e conhecimento acerca de sistemas de acionamentos, transmissão de potência e instalação.

Em seguida, na Unidade 2, serão apresentados os métodos de partidas para acionamentos dos motores elétricos. A estrutura dessa unidade foi organizada para que, inicialmente, você conheça e seja capaz de analisar os diferentes tipos de acionamentos e, em um segundo momento, compreenda o funcionamento dos principais tipos de partidas para motores elétricos no laboratório.

Com essas competências adquiridas, na Unidade 3, conheceremos os principais tipos de dispositivos eletroeletrônicos utilizados em um sistema de acionamentos de motores elétricos, bem como poderemos dimensionar esses dispositivos, em circuitos de acionamentos, levando em consideração o comando e a proteção de todo o sistema.

Por fim, na Unidade 4, você estudará os princípios de funcionamento dos conversores de frequência para controle de velocidade dos motores elétricos. exploraremos também o conceito de eficiência energética aplicado nos acionamentos e controle dos motores.

Com os conhecimentos adquiridos sobre os tipos de partidas dos motores elétricos, formas de dimensionamento, conversores de frequência e eficiência energética aplicada ao acionamento, você estará apto a analisar, identificar, projetar e viabilizar a melhor solução de controle e performance para a aplicação demandada.

Você está pronto para essa jornada?

Desejamos a você um excelente estudo.

Princípios básicos de acionamentos

Convite ao estudo

Pode ser que em algum momento você se questione, ou seja questionado, a respeito da importância em conhecer os tipos de acionamentos para motores elétricos, sendo que, hipoteticamente, poderíamos apenas ligar o motor diretamente na rede elétrica. Será?

Para construir essa resposta, gostaríamos de o convidr a pensar, pesquisar e se aprofundar nos conteúdos que serão abordados nesta unidade. Cada aplicação exige uma análise cuidadosa com relação às informações e variáveis que complementam a descrição de funcionamento ou operação desses motores elétricos.

A proposta para esta unidade é que, ao passo em que o estudo progrida, você conheça e seja capaz de identificar os principais tipos de sistemas nos acionamentos de motores elétricos, os efeitos das cargas e transmissões mecânicas, e como as características de motores influenciam e determinam as instalações dos mesmos.

Com a premissa de o inserir em um cenário real, imagine que agora você está trabalhando em uma empresa prestadora de serviços e soluções que desenvolve pesquisas e projetos de acionamentos de motores elétricos, a KLS Acionamentos.

Por ser uma empresa prestadora de serviços, ela lida com diferentes problemas e demandas vindas dos clientes. O escopo de serviços é amplo, porém, o foco da empresa é analisar e desenvolver acionamentos para motores elétricos, levando em consideração as variáveis em que esses acionamentos e motores estarão aplicados. Por exemplo, em alguns momentos estará diante de casos de instalação de acionamentos em ambientes

externos com exposição a umidade, a altas temperaturas, a vibrações etc., em outros, diante de casos de aplicação do melhor tipo de acionamento para ambientes de fabricação alimentícia, no qual terão de ser consideradas normas e procedimentos dos órgãos competentes.

Para todo serviço prestado, a empresa fornece ao cliente o memorial de cálculo, os diagramas referentes ao acionamento projetado e, quando solicitado, os relatórios de estudos de viabilidade técnica. O projeto em que você atuará é de um cliente que está desenvolvendo uma máquina de envase para carvão.

De acordo com as demandas que chegam, as equipes são formadas pelo nível de conhecimento sobre as competências para aquela etapa de projeto.

Portanto, neste momento, o gerente de projetos faz-lhe os seguintes questionamentos: quais formas de acionamentos de motores elétricos você conhece? Quais efeitos mecânicos básicos devem ser considerados no projeto de acionamentos? Quais dados são necessários para se determinar o acionamento ideal?

Ao término desta unidade, você será capaz de responder a esses questionamentos, conhecendo e analisando os sistemas de acionamentos, levando em consideração os efeitos dos sistemas mecânicos e as características dos motores para instalação e operação.

Vamos, a partir de agora, explorar essas competências.

Seção 1.1

Sistemas de acionamentos elétricos

Diálogo aberto

Antes de iniciarmos nossa jornada de aprendizado sobre os acionamentos de motores, é importante lembrá-lo de alguns conceitos e fundamentos que estão em torno desta disciplina.

Iremos utilizar de habilidades profissionais para poder analisar, compreender e propor soluções às situações-problemas que você enfrentará, e também para a compreensão das informações ao longo de toda disciplina.

Podemos destacar que seus conhecimentos sobre circuitos de corrente contínua, circuitos de corrente alternada e máquinas elétricas serão de extrema usabilidade. Logicamente, não menos importante, porém intrínsecos em qualquer disciplina técnica, têm-se as causas e os efeitos aplicados da física, mecânica, eletricidade e magnetismo.

Retornaremos, agora, ao ponto de suas tarefas junto à equipe KLS Acionamentos, empresa de prestação de serviços que está desenvolvendo um projeto para uma máquina de envase de carvão. Em um dado momento do projeto, o gerente de projetos questionou-o sobre quais formas de acionamentos de motores elétricos você conhece, além de verificar sobre seu conhecimento sobre os efeitos mecânicos básicos que devem ser considerados no projeto e quais os dados necessários para especificar o tipo de acionamento.

Pois bem, você foi alocado, nesta primeira etapa, na equipe de pesquisas que exporá ao gerente de projetos o funcionamento dos sistemas de acionamentos existentes e quais tipos a empresa consegue desenvolver para motores elétricos trifásicos.

Neste momento, você poderia definir o que é um acionamento elétrico?

Pode parecer muita informação, porém com o estudo desta seção você será capaz de responder a esses questionamentos, e também representar de forma metódica o funcionamento dos sistemas de acionamentos.

Não pode faltar

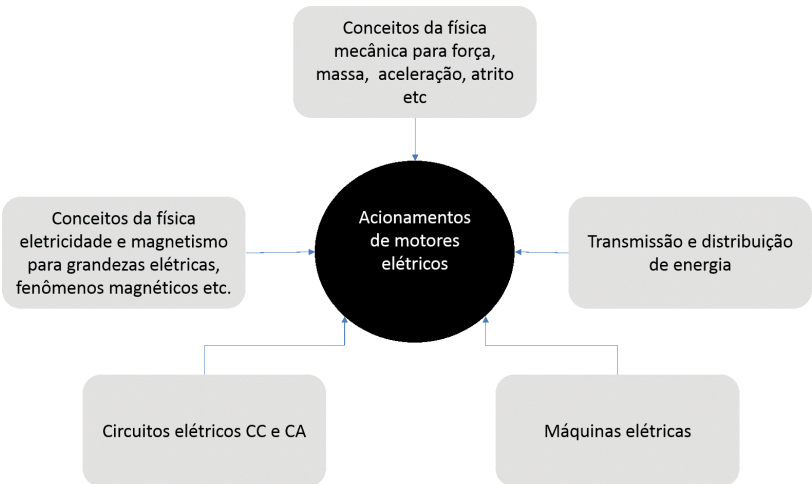
Elementos de um sistema de acionamentos elétricos

Já utilizamos o termo "sistemas" diversas vezes na apresentação da disciplina, e também usaremos muito ao longo deste livro. Então, vamos definir primeiramente o conceito de sistema.

Conforme sua definição no dicionário Michaelis (2017O), é considerado sistema um conjunto metódico de princípios, elementos ou organismos interligados, que estabelecem uma forma organizada e lógica para viabilizar resultados.

Um exemplo que demonstra o sistema em que nossa disciplina de acionamentos de motores elétricos se inter-relaciona com as competências bases citadas na apresentação da unidade poderá ser analisado na Figura 1.1.

Figura 1.1 | Exemplo de sistema aplicado em competências



Fonte: elaborada pelo autor.

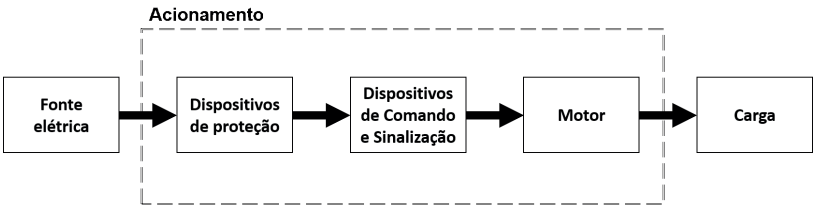
Observe que, na Figura 1.1, foi utilizada a linguagem de mapa conceitual para ilustrar o sistema de competências que envolve esta disciplina. Poderá haver mais competências, porém o objetivo desta figura foi somente demonstrar a aplicação do conceito de sistema.

Essa ferramenta parte da ideia de se ter um tema central e, conforme vão surgindo ideias ou referências, ramificam-se do tema central novas caixas, podendo também, dessas novas caixas, ramificarem-se outros pontos.

Já em acionamentos para motores elétricos, comporemos esse sistema com os elementos necessários para o correto funcionamento da partida e controle.

Há quatro cenários possíveis, nos quais os acionamentos são aplicados, com diferenças referentes ao grau necessário de controle e comando, além da tecnologia disponível. Podem ser de simples comando, em malha aberta ou fechada, e com controle em malha aberta ou fechada.

Figura 1.2 | Sistema de acionamento simples em malha aberta



Fonte: elaborada pelo autor.

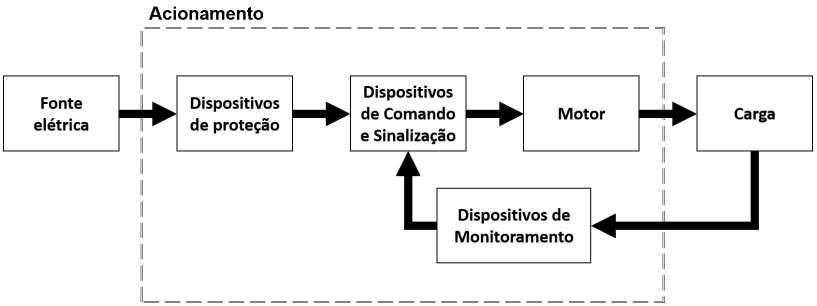
Para acionamentos simples, conforme ilustrado na Figura 1.2, teremos:

- Fonte de energia: bloco responsável por alimentar todo o circuito elétrico que compreende o acionamento e motor;
- Acionamento: bloco que fará a interconexão entre operador e ação sobre a carga. Composto dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores etc.), seguido pelos dispositivos de comando e sinalização (botões, chaves seletoras, sinaleiros, contator, relés etc.) e os motores elétricos. Nos posteriores tipos e formas de acionamentos, teremos os controles;
- Carga: bloco que simboliza toda e qualquer massa que demanda uma potência para funcionamento, conversão elétrica em mecânica, por exemplo, calor (resistência), trabalho mecânico (motores) ou iluminação (lâmpadas). Para tanto, nosso objeto de estudo serão as cargas de ação motriz, sendo que essas cargas serão acopladas aos motores elétricos através de um sistema de transmissão de potência.

Os acionamentos sem sinal de medição ou monitoramento da saída, como mostrado na Figura 1.2, são conhecidos como malha aberta. Quando temos a necessidade de medir alguma grandeza da saída (temperatura, velocidade, vazão etc.), ou mesmo monitorar

o estado da carga, utilizaremos os circuitos de malha fechada. Para melhor compreensão, vamos observar a Figura 1.3.

Figura 1.3 | Sistema de acionamento simples em malha fechada

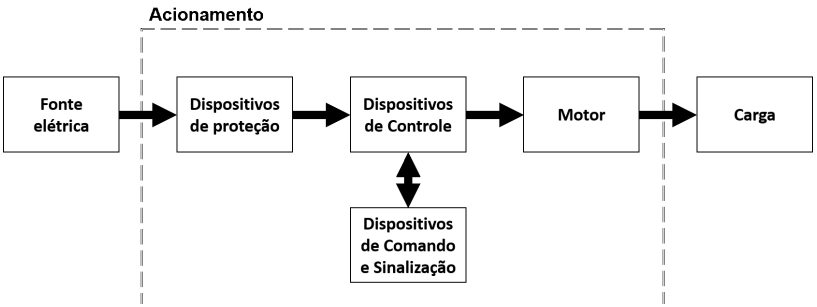


Fonte: elaborada pelo autor .

Com o acionamento em malha fechada, Figura 1.3, percebemos que o papel dos dispositivos de monitoramento é fornecer dados do estado em que se encontra a carga para, então, poder atualizar os comandos e sinalizações. Dessa forma, os dispositivos de monitoramento podem, por exemplo, ser sensores instalados ao longo do processo, assim, quando ocorrer movimentação da carga, esses sensores farão a leitura e atualização do estado dos dispositivos de comando e sinalização.

As Figuras 1.4 e 1.5 demonstram os acionamentos de motores elétricos com os dispositivos de controle, sejam em malha aberta ou fechada.

Figura 1.4 | Sistema de acionamento com controle em malha aberta



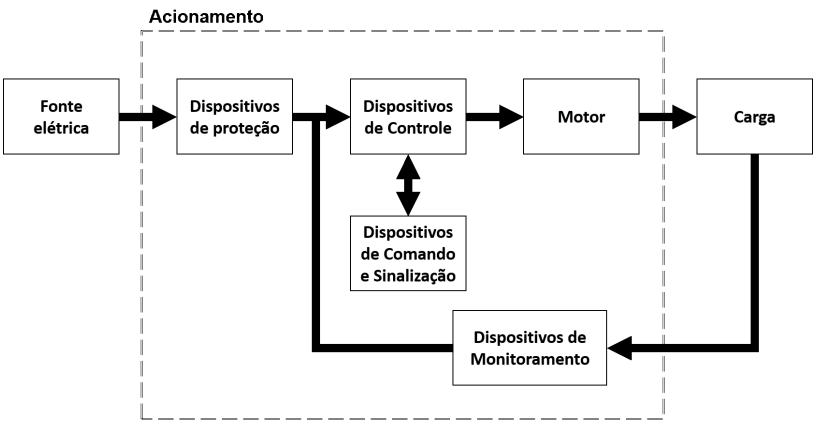
Fonte: elaborada pelo autor.

Por dispositivos de controle, entenda que são equipamentos que atuam de forma a melhorar a performance do sistema, realizando o controle das variáveis no motor, de forma a cumprir uma determinada

função, como girar a uma dada velocidade, levar uma carga até determinada posição etc.

Na Unidade 4, por exemplo, estudaremos mais a fundo os controles para acionamento dos motores elétricos, no caso, os conversores de frequência. Na automação industrial, o controle poderá ser feito com os CLPs (Controlador Lógico Programável), microcontroladores ou hardwares dedicados.

Figura 1.5 | Sistema de acionamento com controle em malha fechada



Fonte: elaborada pelo autor.

Dessa forma, podemos resumir que acionamentos são sistemas elétricos com dispositivos que viabilizam a partida dos motores elétricos, podendo ter as cargas monitoradas, acionamentos automatizados ou por comando manual. Perceba que, até este momento, vimos os acionamentos na perspectiva construtiva dos elementos que o tornam funcional. Agora, você é capaz de definir acionamentos de motores elétricos.

Sistemas de alimentação para acionamentos elétricos

Nas Figuras 1.1 a 1.5, iniciamos o sistema de acionamentos com um bloco chamado fonte de energia, que é uma rede elétrica provida pela concessionária ou de um gerador.

Agora, vamos entender um pouco mais desse importante bloco, o qual consideraremos como um sistema de alimentação para acionamentos elétricos, devido às interdependências dos elementos que o compõem.

Mesmo não sendo foco de nossos estudos, é importante você entender quais são os requisitos da rede elétrica que deverão ser considerados nos projetos de acionamentos ou mesmo quando for energizar os motores através de uma partida ou conversor de frequência.

Fazendo uma análise simples, tendo como embasamento alguns conceitos de circuitos elétricos, sabemos que, antes de energizar uma carga, deve-se observar sua potência e o fator de potência para, então, calcular a corrente elétrica, quando não especificada de forma clara, e só então definir o condutor elétrico mais adequado. O que mais você deverá levar em conta a respeito dessa demanda de potência para funcionamento da carga?

Uma aplicação interessante em indústrias com processos considerados grandes por terem muitos motores instalados, são os centros de controle de motores (CCM). Para ilustrar, observe a Figura 1.6. Nesses CCMs temos um primeiro bloco com os seccionadores, no qual são conectados os cabos da rede elétrica vindos da rede de distribuição, interna ou externa. Temos também um segundo bloco, em que são instalados os dispositivos de proteção geral e comuns a todos circuitos de partidas dos motores. E, em seguida, blocos contendo gavetas, nas quais conforme o projeto de acionamento, haverá os dispositivos de proteção e potência, dispositivos de comando e sinalização, unidades de medidas e partidas eletrônicas. Com isso, torna-se de extrema importância a análise da demanda de potência e os cálculos para o correto dimensionamento desses componentes e dispositivos, seja do circuito de proteção ou de comando.

Para fechar o ciclo do que devemos considerar sobre a demanda de potência, além do sistema de acionamento e tipo da carga, teremos os transformadores de tensão elétrica.

Figura 1.6 | Exemplo de CCM com as gavetas de acionamentos para motores elétricos

Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/electrician-near-the-low-voltage-cabinet-uninterrupted-power-supply-electricity-gm595125404-102029493>. Acesso em: 25 ago. 2017.

Pesquise mais

Para que você tenha uma visão mais ampla dos CCMs, pesquise por informações discutidas nesta seção na descrição do produto desenvolvido pela empresa Siemens. Faça uma busca pelas características elétricas, referentes à carga e à alimentação geral do quadro CCM.

O link disponibilizado o levará para a página que descreve o produto da linha SIVACON S8. Disponível em: <http://w3.siemens.com.br/topics/br/pt/EM/produtos-baixa-tensao/distribuicao-de-energia/paineis-baixa-tensao/paineis-sivacon/sivacon-s8/Pages/sivacon-s8.aspx>. Acesso em: 28 ago. 2017.

Toda carga na indústria está conectada à rede elétrica da concessionária através de um transformador de potência, podendo ser de instalação em poste ou térreo dependendo do seu tamanho e valor de potência.

Assimile

Uma importante análise que se faz, é se a rede elétrica que será utilizada para alimentar nossa carga é adequada, se o transformador possui potência suficiente para tal alimentação e se será necessária a correção do fator de potência com a inserção dessa nova carga.

Nesse caso, temos de verificar com a concessionária se é possível uma nova instalação. Se estivermos querendo apenas aumentar a demanda de carga, é necessário verificar se o transformador atual possui potência disponível e suficiente para alimentação dessa nova instalação.

Assim como as cargas, os processos industriais também possuem um fator de demanda, que é a razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado e a potência instalada na unidade consumidora. Uma boa prática ao calcular um transformador é analisar a fundo as estratégias da empresa e obter dados para reservar essa previsão de carga no transformador.

Exemplificando

A escolha dos transformadores está atrelada à soma total das potências de consumo dos equipamentos utilizados no circuito em que será inserido. Porém, deve-se também levar em consideração o fator de potência total. O fator de potência, estando baixo, diminui a capacidade do transformador de liberar potência ativa, assim como provoca sobrecarga nos condutores e aumento do valor a ser pago na conta de energia.

Considere uma empresa têxtil que possui 10 motores de indução trifásicos de 20 cv, ligados em 220 V. Determine qual o transformador ideal para essa aplicação, em que os motores apresentam rendimento de 89%. Sendo que, a corrente de partida é de aproximadamente 274,18 A e I_p / I_n de 6,3 quando ligado em Δ (triângulo).

Para calcular o transformador, temos de encontrar o valor da potência aparente dos motores, dada por:

$$S = \frac{P_{EL}}{F_P} \text{ ou } S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L .$$

P_{EL} é a potência elétrica consumida (potência ativa), dada por $P_{EL} = \frac{P(\text{w})}{\eta}$, em que $P(\text{w})$ é a potência no eixo do motor e V_L o rendimento do motor. F_P é o fator de potência, V_L a tensão de linha e I_L a corrente de linha.

A corrente de linha é obtida pela relação $I_L = \frac{I_P}{I_P / I_N}$, em que I_P é a corrente de partida e o fator I_P / I_N determina quantas vezes a corrente de partida é maior que a nominal.

Podemos usar qualquer uma das fórmulas para encontrar o valor desejado, desde que tenhamos os dados necessários. Primeiro, vamos

converter a potência do motor dada em cv para watts, pela relação $P(w) = P(cv) \times 736$, assim:

$P(w) = 20 \times 736 = 14720\ \text{W}$.

Considerando a fórmula $S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$, a tensão de linha em que os motores serão ligados é de 220 V e a corrente de linha é determinada pela corrente de partida e fator de relação.

$$I_L = \frac{I_P}{I_P / I_N} = \frac{274{,}18}{6{,}3} = 43{,}52\ \text{A}.$$

Então, $S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L = \sqrt{3} \times 220 \times 43{,}52 = 16583{,}34\ \text{VA}$.

Como a empresa possui 10 motores, temos que $S_T = 10 \times 16583{,}34 = 165{,}83\ \text{kVA}$.

Com o valor da potência aparente, é possível determinar o fator de potência e, consequentemente, através de catálogos, o valor mais próximo do transformador.

Se, $P_{EL} = \frac{P(w)}{\eta} = \frac{14720}{0{,}89} = 16539{,}33\ \text{W}$, então,

$$F_P = \frac{P_{EL}}{S} = \frac{16539{,}33}{16583{,}29} = 0{,}997.$$

Definimos o valor do transformador analisando e calculando também o fator de demanda, *FD*, e a previsão de aumento de carga. Considerando uma previsão de aumento de carga, *PAC*, em 10% e fator de demanda de 0,71, na indústria têxtil, temos:

$P_{\text{TRAFO}} = S_T \times FD \times PAC$,

$P_{\text{TRAFO}} = 165833{,}4 \times 0{,}71 \times 1{,}1 = 129{,}52\ \text{kVA}$.

Com o valor final calculado, seria necessário um transformador de mercado de 150 kVA.

Principais tipos de motores elétricos

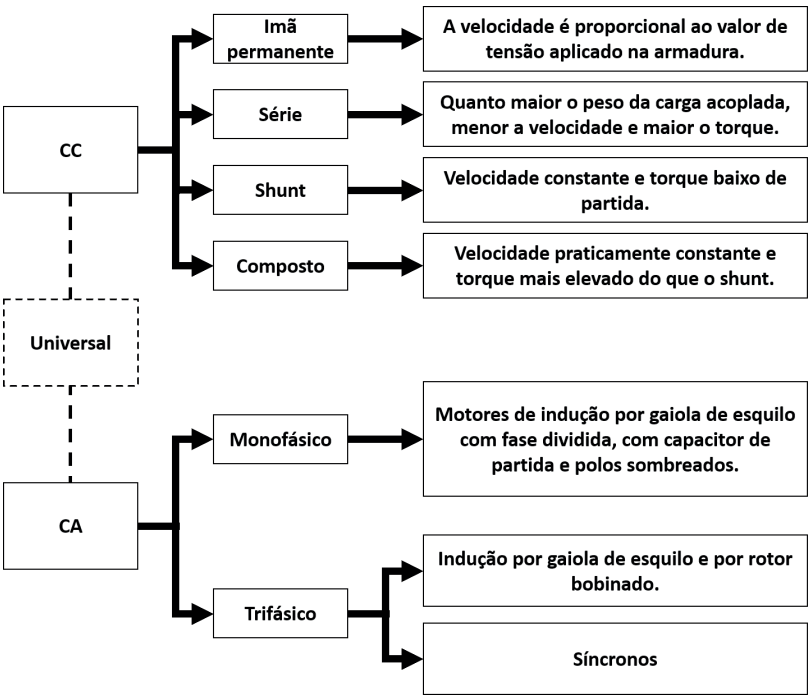
Para o desenvolvimento dos acionamentos ou partidas de motores elétricos, é necessário que você tenha conhecimento sobre o funcionamento de motores elétricos.

Sabemos que motores elétricos são máquinas capazes de transformar a energia elétrica em energia mecânica. Do contrário, energia mecânica resultando em energia elétrica indica a atuação de geradores.

As seleções dos motores podem ser simples, desde que observada e calculada, quando necessário, a aplicação para o mesmo. Considera-se, no processo de seleção, o tipo de tensão elétrica em que o motor

será alimentado, o tipo de ambiente em que vai operar, o grau de eficiência, a potência de trabalho, a velocidade ou torque, a estrutura física para integração com sistemas mecânicos e para instalação, entre outros. A Figura 1.7 fornece-nos um panorama sobre os tipos de motores elétricos.

Figura 1.7 | Classificação dos motores elétricos



Fonte: elaborada pelo autor.

Podem-se classificar os motores elétricos em CC e CA. Os motores CC são classificados, conforme a Figura 1.7, em imã permanente, série, shunt e composto.

Os motores de indução são os mais empregados atualmente no setor industrial, pois apresentam vantagens como simplicidade de controle, manutenção e reparo, custo de aquisição, bom fator de rendimento etc. Basicamente, para os motores de indução, temos dois tipos, os trifásicos e os monofásicos. No Quadro 1.1 são apresentados os modelos de motores de indução monofásico e trifásico. Lembre-se de que a principal diferença entre motores CC e CA é em relação ao campo magnético gerado.

Quadro 1.1 | Especificações aos tipos de motores de indução

Tipo do motor	Especificações

CA trifásico de indução gaiola de esquilo	• Cada projeto de rotor traz consigo uma característica sobre a performance dos motores:
	  • NEMA tipo B – considerado como padrão, torque normal e corrente de partida baixa;
	  • NEMA tipo C – maior fator de potência do rotor na partida, maior torque de partida;
	  • NEMA tipo D – maior torque de partida que o tipo C.
	• São motores projetados para operar próximos da velocidade nominal e a corrente de partida pode variar a tensão na linha.
	• Utilizados em aplicações comuns, seja em meios industriais ou comerciais.

CA trifásico de rotor bobinado	• Torque de partida muito elevado e corrente de partida baixa, resultante da resistência no circuito do rotor que reduz gradualmente quando se aproxima da velocidade máxima. • Utilizados em aplicações que requerem um torque de partida alto devido a carga ser de alta inércia.
CA Síncrono trifásico	• Opera como velocidade constante, seja com carga ou sem carga. • Uma aplicação comum para o motor síncrono é acionar compressores que não necessitam de grande potência mecânica de saída e, como benefício, os motores síncronos, por possuírem fator de potência adiantado, ajudam na correção do fator de potência.
CA monofásico de fase dividida	• O estator possui dois enrolamentos defasados em 90ºC. O enrolamento de partida auxiliar é conectado em série com uma chave centrífuga que abre ao chegar em 75% da velocidade plena. • Grande atenção deve-se dedicar à chave centrífuga, pois seu acionamento no momento errado pode danificar ou mesmo queimar os enrolamentos de partida.

CA monofásico de fase dividida com capacitor	• Estes motores possuem os mesmos princípios de funcionamento dos de fase dividida; a grande e importante diferença está no capacitor de partida, que entrega mais torque e melhora o deslocamento de fase entre os enrolamentos. • Quando atingem 75% da velocidade nominal, tanto o enrolamento de partida como o capacitor de partida serão desconectados. • Há ainda motores com capacitor permanente, que não precisam de chave centrífuga para partida. Projetado para uso contínuo, faz com que, ao atingir a velocidade de trabalho, o enrolamento de partida se torne um enrolamento auxiliar. São comumente usados em ventiladores, compressores de ar, bombas de água, e outras de alto torque. Chegam até 25 hp.
CA monofásico de polos sombreados	• Sua aplicação é de baixo consumo, porém com baixo torque de partida e fabricados em potências baixas. Seriam para uso de equipamentos domésticos, como ventiladores, sopradores e barbeadores elétricos. • São encontrados em potências de até $\frac{1}{6}$ hp.

Fonte: elaborado pelo autor.

Formas de acionamento dos motores elétricos

Na Unidade 2, você estudará e praticará os métodos de acionamentos nos motores elétricos.

Aqui seu estudo e senso de curiosidade deverão ser utilizados para compreender, além do que já foi abordado, quais as normas existentes que envolvem as formas de acionamentos.

Em se tratando de normas, temos algumas que são diretamente norteadoras das atividades com os acionamentos e partidas de motores, e outras, não menos importantes, mas consideradas indiretas, que complementam e fortalecem a forma como desenvolvemos tais atividades.

Alguns exemplos de normas são:

- NBR 5456 - Eletricidade geral;
- NBR 5459 - Manobra e proteção de circuitos;
- NBR 5471 - Condutores elétricos;
- NBR 17094 - Máquinas elétricas girantes;

- NBR IEC 60947 - Dispositivo de manobra e comando de baixa tensão;
- NBR 16521 - Cabeamento estruturado industrial.

Reflita

Você acha que é importante o profissional decorar todas as normas pertinentes às suas atividades profissionais? Seria um diferencial do profissional?

Entenda que não existe resposta correta para esse questionamento, porém é recomendado que todo profissional da área tenha o conhecimento, de forma geral, sobre as normas que são comuns em suas atividades. Com a prática, você acabará se familiarizando com os conceitos mais relevantes.

Algumas dessas normas serão referenciadas neste livro, conforme o foco da unidade ou seção.

A exemplo de aplicação e compreensão da norma NBR IEC 60947 que trata sobre os dispositivos de manobra e comando, temos as seguintes definições:

- Dispositivos de comando: acionados diretamente para o dado controle da carga.
    - Exemplo: ligar, desligar, aumentar ou reduzir potências, variar a velocidade, entre outras formas de controle.
- Dispositivos de proteção: atuam de forma autônoma sempre que as variáveis do circuito conectado apresentarem algum desvio que proporcione riscos à carga ou aos equipamentos. São utilizados para proteger contra curto-circuito e sobrecarga.
    - Exemplo: um curto-circuito, um trabalho forçado dos motores, entre outros fatores, pode fazer com que os disjuntores desarmem, os relés térmicos fiquem ativos, ou até mesmo os fusíveis se rompam, ou seja, abram.
- Dispositivos de seccionamento: operados mecanicamente, sem presença de corrente elétrica e, por usabilidade, são os dispositivos de manobras que isolam a alimentação da carga. Diferentemente dos dispositivos de proteção que são acionados mecanicamente, desliga o circuito de forma automática, conforme o risco ou má operação da carga.
    - Exemplo: chaves seccionadoras.

Pesquise mais

É importante entender que existem diferentes níveis de normas, bem como de suas respectivas aplicações. No portal oficial da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) você encontrará diversas informações e conceitos interessantes. Dentre alguns desses conceitos, sugerimos a leitura deste pequeno artigo sobre os níveis de normalização, assim poderá se familiarizar quando forem citadas neste livro as siglas IEC, NEMA, ISO, DIN, entre outras. Link para acesso: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/niveis-de-normalizacao>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Sem medo de errar

No começo da unidade, apresentou-se o cenário em que você \ atuará perante as demandas de serviços vindas do seu supervisor. A primeira etapa do projeto consiste em uma pesquisa para apresentação ao gerente de projetos quanto ao funcionamento e tecnologias dos acionamentos que a empresa KLS Acionamentos consegue desenvolver para o cliente.

O primeiro questionamento do supervisor foi sobre a definição do que é um acionamento elétrico. Assim, por meio de um diagrama representativo em blocos, ou um mapa conceitual, você deveria explicar as funções de um acionamento, descrevendo os principais tipos de motores elétricos. Essas entregas além de facilitar a exposição mais clara das informações ao gerente de projetos, permitirão a continuidade do projeto.

Para ajudá-lo na construção dessa primeira resposta, lembre-se das Figuras 1.2 e 1.3, que são modelos simples do acionamento de motores elétricos, e descreva cada elemento do sistema.

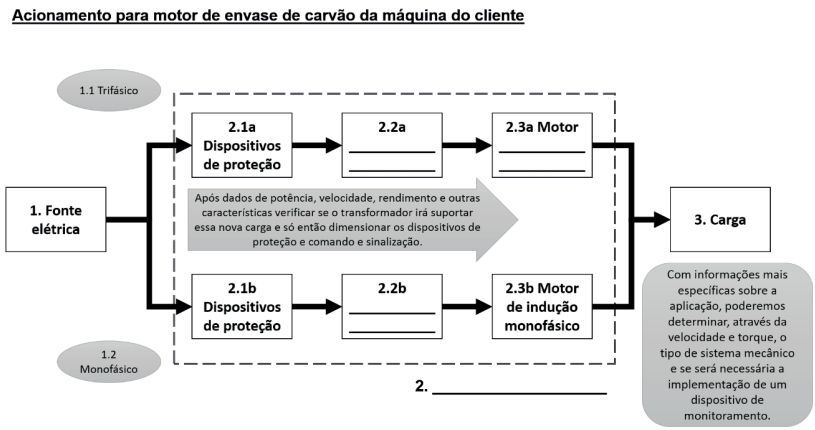
Por meio da Figura 1.8, podemos ilustrar a aplicação do cliente com um equipamento real, desenvolvido pela empresa SNT, Jaú – SP.

Figura 1.8 | Rosca transportadora Helicoidal SNT

Fonte: <http://www.sntmaquinas.com.br/imagens/informacoes/rosca-transportadora-helicoidal-preco-01.jpg>. Acesso em: 4 out. 2017.

A carga, conforme aplicação do cliente, é o conjunto mecânico de envase (por exemplo, uma rosca transportadora ou transportador helicoidal) acoplado por meio de um sistema de transmissão mecânica ao motor elétrico. Para a segunda entrega, o diagrama representativo sobre as funções de um acionamento e os tipos de motores elétricos, vamos utilizar a Figura 1.9 como uma ferramenta norteadora.

Figura 1.9 | Diagrama representativo do projeto



Fonte: elaborada pelo autor.

Note que a Figura 1.9 foi baseada no modelo de malha aberta, como exposto na Figura 1.2, por se tratar de um modelo essencial e permitir a

implantação de elementos que o façam mais completos e complexos, como no caso de modelos de malha fechada com controle.

Pelas competências adquiridas até aqui, você será capaz de finalizar as informações com os conhecimentos absorvidos nesta seção.

Avançando na prática

Acervo de normas técnicas para acionamentos de motores elétricos e complementares

Descrição da situação-problema

Ao ingressar no mercado de trabalho, deparamo-nos com situações em que devemos desenvolver uma tarefa seguindo as recomendações de normas nacionais e até mesmo internacionais. Ao concluir essa primeira etapa do projeto pela empresa KLS Acionamentos, você foi designado a elaborar um portfólio contendo a referência das normas utilizadas dentro da área de acionamentos e competências complementares, como se fosse um acervo para pesquisas posteriores.

Agora é com você, utilize o portal da ABNT, ou do Target GEDWeb disponível em <https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>, ou outra fonte de consulta que contenha as descrições do que se trata a norma.

Mas cuidado, algumas normas foram canceladas e substituídas. Nesse caso, as normas possuirão essas informações, direcionando-o para sua atualização.

Resolução da situação-problema

Um exemplo bem simples poderá ser analisado na no Quadro 1.2.

Agora é com você.

Quadro 1.2 | Exemplo para acervo técnico

Acervo de normas técnicas: (Seu nome)

Tipo de atividade	Normas técnicas ABNT	Normas técnicas IEC	Outras normas
Acionamentos elétricos em baixa tensão	NBR IEC 60947 - Dispositivo de manobra e comando de baixa tensão		
Serviços com eletricidade	NR10 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade		
Motores elétricos	NBR 7094 - Máquinas elétricas girantes		
Organização e pontos de atenção para lançamentos de cabos	NBR 16521 - Cabeamento estruturado industrial		
Linguagem de programação dos controladores lógicos		IEC 61131	
...	...	...	...

Fonte: elaborado pelo autor.

Faça valer a pena

1. Em uma empresa de fabricação de ração, observou-se que o novo motor elétrico instalado no processo de mistura para de funcionar sempre que se coloca 80% de ingredientes no recipiente. Segundo o técnico responsável, as causas podem ser:

I. Os dispositivos de proteção, que estão subdimensionados.

II. Os botões e sinaleiros, que não suportam a corrente elétrica exigida pelo novo motor.

III. O motor, que foi dimensionado acima do ideal.

IV. O recipiente, que não tem sensores para controlar o nível máximo que suporta para misturar.

Com base nas causas sugeridas pelo técnico responsável, assinale a alternativa correta:

a) II e III estão corretas.

b) Somente a II está correta.

c) Somente a I está correta.

d) I e III estão corretas.

e) Somente a IV está correta.

2. Para finalizar o projeto da esteira transportadora suspensa, que leva as peças pintadas para uma estufa, será necessário selecionar no almoxarife da empresa um motor que seja o ideal nesta aplicação. O eletricista passou os

seguintes dados para o supervisor: rede elétrica de 220 V trifásico, dispositivos de proteção com limite de 18 A nominal, sistema de acionamento em 24 V CC e potência em 220 V CA, 1780 rpm, aproximadamente, devido ao sistema de transmissão mecânica já presente, e, para manter o equilíbrio das cargas, o novo motor deverá possui fator de potência acima de 0,9.
Dentre as opções abaixo, qual possui a descrição correta do motor necessário para a esteira transportadora suspensa?
a) Motor 220 V, C.A., trifásico, de 3 cv, 6 polos, 1200 rpm, F_p de 0,93.
b) Motor 220 V, CA/CC, universal, 2,5 hp, 345 rpm.
c) Motor 220 V, CC, 5 cv, 4 polos, 1800 rpm, F_p de 0,92.
d) Motor 220 V, CA, monofásico, de 3 cv, 1800 rpm, F_p de 0,93.
e) Motor 220 V / 380 V, CA, trifásico, 5 cv, 4 polos, 1800 rpm, F_p de 0,92.

3. Através de um estudo feito em uma pequena indústria siderúrgica, constatou-se que o fator de potência referente ao transformador responsável por alimentar os motores está muito baixo (0,57), e que, com um banco de capacitores, seria possível obter algo em torno de 0,9 e 0,93.
Para a realização desse processo de estudo, foram seguidos alguns passos; marque a opção que melhor descreve os passos para esse processo.
a) Levantamento das potências ativas (W) das cargas indutivas; cálculo das potências aparentes (VA); levantamento dos rendimentos dos motores; tensão elétrica de alimentação para cada motor; corrente de partida e de alimentação.
b) Levantamento das potências reativas (W) das cargas indutivas; cálculo das potências aparentes (VA); levantamento dos rendimentos dos motores; tensão elétrica de alimentação para cada motor; corrente de partida e de alimentação.
c) Levantamento das potências ativas (W) das cargas capacitivas; cálculo das potências reativas (W); levantamento dos rendimentos dos motores; tensão elétrica de alimentação para cada motor; corrente de partida e de alimentação.
d) Levantamento das potências reativas (W) das cargas capacitivas; cálculo das potências aparentes (VAR); levantamento dos rendimentos dos motores; tensão elétrica de alimentação para cada motor; corrente de partida e de alimentação.
e) Levantamento das potências ativas (VA) das cargas indutivas; cálculo das potências reativas (VAR); levantamento dos rendimentos dos motores; tensão elétrica de alimentação para cada motor; corrente de partida e de alimentação.

Seção 1.2

Efeito dos sistemas mecânicos nos acionamentos

Diálogo aberto

Chegamos na segunda fase do projeto da empresa KLS Acionamentos. Através de dados entregues pelo cliente você deverá calcular os sistemas de transmissão de potência para um motor de 1800 rpm, com transmissão feita por três engrenagens acopladas, módulos de 20, 80 e 144, de tal forma que se obtenha a redução de velocidade.

Para tanto, nesta seção serão apresentadas as competências necessárias para sua formação profissional, pois saber identificar e conhecer elementos mecânicos e as perdas ocorridas será um grande diferencial, não podendo esquecer que com esses conhecimentos e percepções você cada vez mais, aprimorará a forma como analisa e dimensiona projetos de acionamentos.

Agora, retornaremos para suas tarefas junto à equipe da KLS Acionamentos: você e sua equipe estão desenvolvendo um projeto para uma máquina de envase de carvão. Pois bem, na primeira etapa você definiu em um diagrama o que são e o que conterão os acionamentos por você planejados.

Nesta segunda parte, você recebeu mais informações sobre a necessidade do cliente saber qual o conjunto mecânico correto para que o motor elétrico seja acionado dentro do esperado.

Ao final desta seção, espera-se que você saiba: identificar os efeitos dos sistemas de transmissões mecânicas sobre os acionamentos elétricos dos motores; compreender os termos técnicos básicos que permeiam a disciplina de elementos de máquinas; e analisar o funcionamento de um sistema identificando as perdas.

Pronto para começar?

Não pode faltar

Influência dos modelos de movimentação linear e rotativo

Os movimentos lineares e rotativos são também determinantes na análise para a seleção do motor e sistema de transmissão

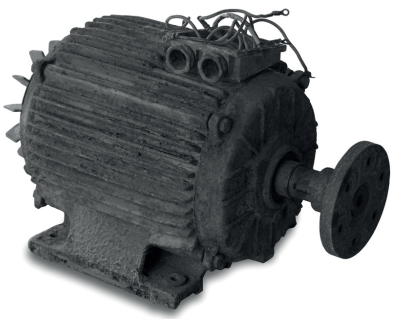
mecânica, consequentemente, afetam o tipo de acionamento para partida dos motores, que garantirá, na carga, os requisitos de torque e velocidade necessários.

O modelo de movimentação rotativo é o movimento natural produzido pelo motor elétrico, mas a forma como esse motor será instalado na aplicação demanda uma certa análise sobre a forma construtiva. Não é correto, por exemplo, instalar um motor elétrico para trabalhar no sentido vertical em ambientes severos, com baixo grau de proteção IP, sendo que sua estrutura foi projetada para trabalhar no sentido horizontal e em ambientes limpos e de baixo impacto.

Até que ponto isso pode afetar o funcionamento do motor? Primeiramente que, quando mudamos a forma de instalação, estamos adaptando um suporte para fixar esse motor; com isso, aumentamos o atrito interno e externo, além das proporções de perdas. Assim, comprometemos o seu funcionamento. Em outra perspectiva, temos a relação do grau de proteção IP, os efeitos são visíveis e bastante severos, diminuindo a vida útil do motor e tornando-o propício a frequentes paradas de manutenção por quebra mecânica ou curto-circuito, além de contaminação no processo produtivo se ocorrer oxidação.

A Figura 1.10 exemplifica o efeito da seleção não adequada quanto ao tipo do motor em uma aplicação; logicamente, o processo de manutenção, quando falho, contribui para a depreciação do motor.

Figura 1.10 | Motor elétrico sob efeitos de ferrugem e corrosão devido à oxidação

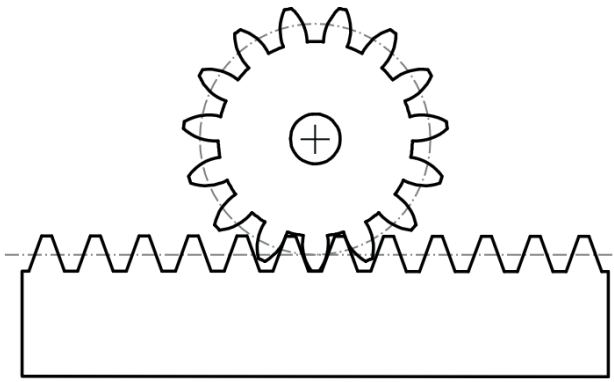


Fonte: <http://www.istockphoto.com/br/foto/rusty-motor-el%C3%A9trico-gm453626125-25778939>. Acesso em: 12 set. 2017.

Motores em movimentos rotativos são utilizados em diversos cenários: tração, elevador, furação, torneamento, fresamento, esteiras etc.

Os movimentos lineares, que se dão por meio de motores rotativos, são obtidos com o acoplamento do motor em um sistema linear para transmissão de potência, como o de guias lineares ou cremalheiras. Apesar de termos diversas aplicações com motores elétricos CA, é comum usarem motores CC, motor de passo ou servomotores, quando se deseja alta precisão. A Figura 1.11 ilustra um sistema linear.

Figura 1.11 | Aplicação da cremalheira na movimentação linear



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APignon_cremaillere.svg>. Acesso em: 10 set. 2017.

O que diferencia os movimentos rotativos e lineares, apesar de usarem semelhantes sistemas mecânicos de transmissão, é a forma como deslocam a carga. Nos modelos rotativos, a carga ou os efetuadores giram sobre o mesmo eixo. Já nos modelos lineares, a carga ou os efetuadores apenas se deslocam do ponto A ao B.

Esses conjuntos mecânicos lineares são facilmente encontrados para movimentação de portões, deslocamento de peças em sistemas prismáticos, atuação dos eixos de um Controle Numérico Computadorizado (CNC) etc. Podem resultar muitas perdas na eficiência caso se utilizem conjuntos com folgas ou mal dimensionados.

Tanto o motor como a transmissão mecânica a serem utilizados levam em consideração os requisitos de cargas, como:

- Cargas de torque constante: são aplicações que mantêm constante o torque entregue à carga, mesmo a velocidade aumentando ou diminuindo. Comum em sistemas transportadores, guindastes e tração;
- Cargas de torque variável: são proporcionais à velocidade. Utilizados com maior frequência em ventiladores centrífugos, sopradores industriais e motobombas;

- Cargas de potência constante: comumente aplicado em tornos, furadeiras e fresadoras, no qual, em baixa velocidade, é necessário alto torque; conforme a velocidade aumenta o torque diminui;
- Cargas com inércia elevada: são cargas que exigem muito torque para entrar em movimento e baixo torque para mantê-la. São associadas a máquinas de grande porte, como ventiladores, sopradores, prensas e máquinas de lavar.

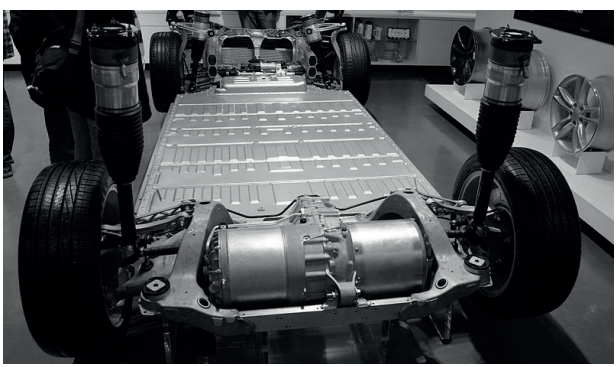
Elementos básicos de um sistema mecânico

Para obter um alto torque de um motor de baixa potência é necessário o acoplamento de um sistema de transmissão mecânica, caso contrário, seria necessário um motor elétrico bem maior do que o do projeto.

Como apresentado no início da unidade, os motores elétricos têm por finalidade compor um sistema no qual execute alguma ação na dada aplicação em que foi implantado, como a movimentação de uma esteira, deslocamento de uma ponte rolante e, atualmente, nos carros elétricos.

A Figura 1.12 apresenta os motores elétricos sendo aplicados em um chassi de carro da montadora Tesla Motors. É válido lembrar que para cada aplicação há um acionamento específico no controle dos motores elétricos. Na Unidade 3 você poderá projetar um acionamento, considerando as condições em que o motor estará implantado e em qual tipo de aplicação.

Figura 1.12 | Chassi do carro modelo S da montadora Tesla Motors



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ATesla_Motors_Model_S_base.JPG>. Acesso em: 10 set. 2017

Para qualquer aplicação, são necessários alguns sistemas mecânicos que acoplem o motor elétrico ao equipamento ou máquina. Essa necessidade se dá por dois motivos: torque e velocidade. Para tanto, é necessário ter conhecimento de alguns elementos mecânicos básicos que compõem as aplicações com motores elétricos. Além de estarem inseridos no dia a dia de suas atividades profissionais, trata-se de um fator diferencial saber e conhecer tais elementos.

Começando pelo motor elétrico, temos sua estrutura construtiva que é de extrema relevância devido ao correto posicionamento para fixação e, logo, acionamento do mesmo na máquina. A norma brasileira *NBR IEC 60034-7 para Máquinas elétricas girantes - Classificação das formas construtivas e montagens*, substituta da antiga *NBR 5031*, cancelada em 2013, e baseada na IEC 34-7, define os modelos construtivos, a forma de fixação e o padrão de identificação. O Quadro 1.3 ilustra os modelos de motores quanto à sua forma construtiva e aos pontos de fixação.

Quadro 1.3 | Fixação de motores por sua base e por meio de flanges, de acordo com IEC 34-7

| | | |

dos componentes e causar má conexão, levando até a danificar os equipamentos e/ou provocar acidentes.

Assimile

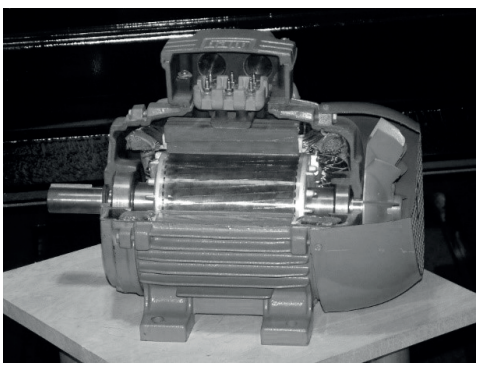
Para um motor de carcaça B5D, ou seja, sem pés para apoio e fixação, flange FF para acoplamento ao equipamento/máquina, instalado do lado com eixo para direita, significa que:

- O motor não foi projetado para ficar apoiado sobre uma base;
- O flange é o que fixará e fará o acoplamento, por isso é recomendado pelos fabricantes que, por exemplo, caso o flange tenha dez furos para parafusos $\frac{3}{16}$" com arruela e porta autotravante, então faça a instalação como o solicitado. Isso evita problemas de vedação, vibração, cisalhamento dos parafusos e afrouxamento dos mesmos.
- O projeto é para instalação com eixo à direita por causa da posição e leitura da placa de identificação do motor; caso seja instalado para esquerda, a placa não ficará visível dependendo da posição e se o motor for rotacionado, a mesma ficará invertida.

Infelizmente, esses erros acontecem com frequência quando o profissional não possui tais conhecimentos.

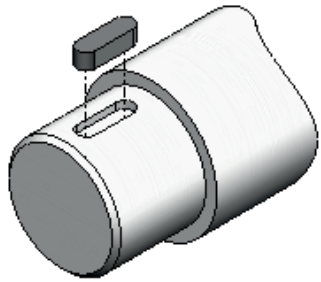
Outro detalhe interessante, ainda sobre os motores elétricos, é que possuem no eixo de saída uma ranhura e uma chaveta para que se possa acoplar algum elemento de transmissão de potência mecânica, como polias, engrenagens, caixa de redução, entre outros. Na Figura 1.13(a) é possível verificar o motor elétrico aberto e, na ponta do eixo, um detalhe, ilustrado na Figura 1.13(b).

Figura 1.13(a) | Motor elétrico aberto e detalhe da chaveta na ponta do eixo



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cut-away_version_of_an_electric_motor_(2).JPG>. Acesso em: 10 set. 2017

Figura 1.13(b) | Elemento chaveta e ranhura na ponta do eixo



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FeatherKeyUnMounted.png>. Acesso em: 10 set. 2017.

Com relação aos eixos, tenha em mente que são elementos mecânicos que transmitem movimento, podendo ser lisos ou compostos. Se lisos, necessitam de um furo ou anéis de retenção para fixação, ou para limitar o comprimento. Quando compostos, são acoplados no eixo outros elementos de construção mecânica para transmissão de potência no movimento.

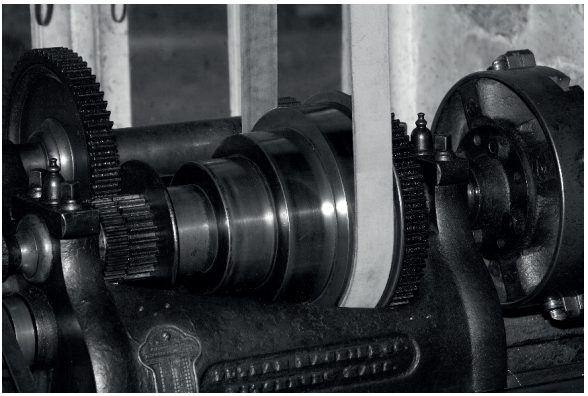
Para finalizar o contexto sobre eixo, há os que trabalham de forma fixa (usados como suporte, por exemplo, eixo dianteiro de um veículo com tração) ou de forma giratória (chamados de eixo árvore, geralmente apoiados com mancais, como o próprio eixo do motor elétrico).

Polias são utilizadas para transmissão de movimento entre eixos, sendo necessário utilizar correias como meio de transmissão, pois possuem a superfície de contato lisa.

Engrenagens também são aplicadas para transmitir movimentos e podem ampliar ou reduzir forças.

É possível fazer a transmissão através de correntes, correias dentadas ou pelo contato direto entre as engrenagens. A Figura 1.14 apresenta um sistema mecânico com aplicação das polias por correias e as engrenagens por acoplamento direto.

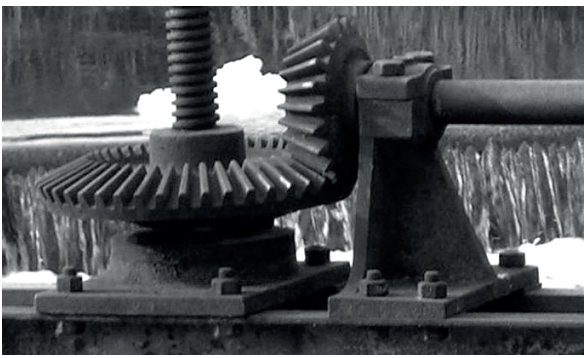
Figura 1.14 | Sistema de transmissão mecânico com polias e engrenagens



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APutnamLatheHagley01.jpg>. Acesso em: 10 set. 2017.

Os conceitos de coroa e pinhão estão atrelados à engrenagem, quando se tem a relação de ampliação e redução de velocidade. A Figura 1.15 ilustra o conjunto pinhão e coroa.

Figura 1.15 | Conjunto mecânico pinhão e coroa



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ABevel_gear.jpg>. Acesso em: 10 set. 2017.

Nas aplicações com duas engrenagens, é necessário que os módulos entre as engrenagens sejam iguais. Caso contrário, não será possível o engrenamento.

Sistemas de transmissão de potência mecânica

Na Figura 1.15, o pinhão é o de diâmetro menor e a coroa de diâmetro maior. Nessa imagem podem ser feitas duas análises: primeiro, caso o pinhão esteja acoplado ao motor, e a coroa esteja acoplada à carga, ou seja, a engrenagem motora de diâmetro menor está transmitindo a potência para a engrenagem movida, de diâmetro maior, desse modo, teremos uma redução da velocidade de saída

para o sistema, em comparação com a velocidade de giro do eixo motor; segunda análise, caso o acoplamento seja feito ao contrário, engrenagem motora de diâmetro maior transmitindo a potência para a engrenagem motora cujo diâmetro é menor, o efeito resultante será a ampliação de velocidade.

- Transmissão por correias:
  - Corresponde aos sistemas que transmitem movimento de rotação entre dois eixos (motor e movido) por intermédio de polias e correias.
  - Existem diversos tipos de correias, de forma que as mais empregadas são planas e as trapezoidais, pois apresentam baixo ou quase nulo deslizamento, além de permitirem a proximidade das polias.
  - Há ainda as polias de tensionamento, que podem ser do tipo dentado ou liso.
  - Possuem custo menor se comparado aos sistemas por engrenagens, alto coeficiente de atrito, elevada resistência ao desgaste e funcionamento silencioso.
  - São flexíveis, elásticas e adequadas para grandes distâncias entre centros.
  - Comprimento de correias (L) para polias de mesmos diâmetros ou de diâmetros diferentes, tanto para o sentido direto de rotação quanto o inverso, é obtido através de cálculos que envolvem a distância entre eixos, diâmetros e fatores de serviço.
  - Com relação à manutenção é recomendado:
    - Manter as correias limpas (a seco), para evitar deslizamento;
    - Nas primeiras 10 a 50 horas de trabalho das correias novas, verificar a tensão e ajustar o esticador, de acordo com especificações técnicas, pois, nesse período, as correias sofrem maior esticamento;
    - Verificar a tensão de correias nas revisões de 100 horas;
    - Nunca trocar uma só correia de um jogo de correias. Se uma se quebrar ou se danificar, devem ser todas trocadas.

Nos sistemas de transmissão com polias, consideramos a rotação e os diâmetros para relação de transmissão (i):

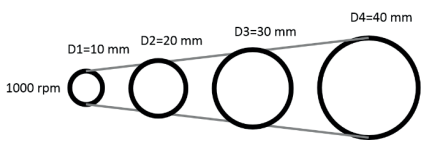
- $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$
- D_1 e n_1 – diâmetro das polias motora e movida.
- n_1 e n_2 – velocidade de rotação das polias motora e movida.

Nos sistemas de transmissão com engrenagens, consideramos a velocidade e o número de dentes para a relação de transmissão (i):

- $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$
- Z_2 e Z_2 – número de dentes das engrenagens motora e movida.

Uma observação importante, que engloba tanto o uso de polias como de engrenagens, é que em um sistema de transmissão sequencial, considerando uma engrenagem acoplada diretamente na outra e assim por diante, bem como uma polia acoplada na outra por correia ou corrente, não importa a quantidade de polias ou engrenagens intermediárias; para efeito de cálculo, basta pegar o valor da primeira, motora, e da última, movida. As demais são apenas para melhorar o desempenho do acoplamento. A Figura 1.16 ilustra e demonstra essa observação.

Figura 1.16 | Relação de transmissão de polias para (a) acoplamento com estágios intermediários e (b) acoplamento direto

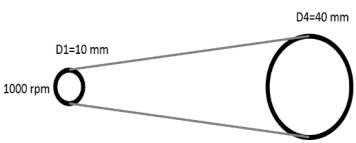


$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{1000}{n_2} = \frac{20}{10} = 500 \text{ rpm}$$

$$\frac{n_3}{n_4} = \frac{D_4}{D_3} = \frac{333,33}{n_4} = \frac{40}{30} = 250 \text{ rpm}$$

$$\frac{n_3}{n_4} = \frac{D_4}{D_3} = \frac{333,33}{n_4} = \frac{40}{30} = 250 \text{ rpm}$$

(a)



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{1000}{n_2} = \frac{40}{10} = 250 \text{ rpm}$$

(b)

Fonte: elaborado pelo autor.

Em ambos sistemas, são considerados diversos outros efeitos e comportamentos em relação à carga e ao motor. Entre eles tem-se:

- Torque, ou momento torçor (M_T): torque é uma medida de força que resulta de um objeto que gira ao redor de um eixo, fazendo com que esse objeto adquira aceleração angular. Nas transmissões mecânicas, o torque é o produto da força tangencial (carga) e do raio (r) da peça.
  - $M_T = F_T \times r$ [Nm]
  - FT – força tangencial (N)
  - r – raio da peça (m)

- Potência (P): sabemos que potência é o trabalho (τ) feito em determinado tempo (t), dada por $P = \frac{\tau}{t}$ [W]. Para efeito de cálculo, sabe-se que trabalho é $\tau = \frac{F \times S}{t}$, e que a velocidade é dada por $V_P = \frac{S}{t}$, então, resumidamente, pode-se definir a potência pela velocidade e força exercida.
  - $P = F \times V_P$ [W]
  - F – força exercida, ou carga (N)
  - V_p – velocidade periférica (m/s)

Exemplificando

Em uma siderúrgica, surgiu a necessidade de desenvolver um elevador de carga pequeno para transporte entre dois pavimentos, aproximadamente 6 metros. Sabe-se que a carga máxima a ser transportada é de 6200 N. A velocidade ideal, tanto na subida quanto na descida, seria de 0,8 m/s. Deseja-se calcular o motor elétrico que movimentará o deslocamento desse elevador de carga, atendendo a essa faixa de velocidade, sendo que nessa carga máxima já está incluso o peso da estrutura do elevador.

Sabemos que $P = F_T \times V_P$, e que a força tangencial (F_T) será a carga total a ser transportada pelo elevador, e a velocidade periférica (V_p) de 0,8 m/s.

Para v_p de 0,8 m/s precisaremos de um motor:

$P = F_T \times V_P$

$P = 4960 \text{ W}$

$P = 4960 \text{ W}$

Nesse caso, o motor ideal para a aplicação seria de 4960 W. No mercado encontramos os motores elétricos em cv (cavalo-vapor), que corresponde ao seguinte $1\ (cv) = 735{,}5\ W$. Dessa forma, terá que se encontrar o motor em potência cv:

$$P_{cv} = \frac{P_w}{735{,}5}$$

$$P_{cv} = \frac{4960}{735{,}5}$$

$$P_{cv} = 6{,}74\ cv$$

Pesquise mais

Para adquirir mais conhecimentos em elementos de máquinas e sobre sistemas de transmissões de potências, recomendamos que leia e busque mais informações sobre os assuntos desta disciplina.

Uma fonte de conhecimento interessante são os vídeos do telecurso que tratam do tema desta seção.

Você poderá acessar esse conteúdo através do link disponível em: <http://globotv.globo.com/fundacao-roberto-marinho/telecurso/v/telecurso-profissionalizante-elementos-de-maquinas-aula-01/1305675/>. Acesso em: 11 out. 2017.

Tipos de perdas em motores elétricos por sistemas mecânicos e elétricos

Em sistemas de transmissão, é comum verificar perdas de potência ocorrendo devido às das engrenagens, polias, correntes, suportes, causadas pelo atrito entre as superfícies, viscosidade do lubrificante, deslizamento e desalinhamento entre correia e polia etc.

O estudo de viabilidade para levar uma empresa ao nível melhor de eficiência energética requer, muitas vezes, a troca dos motores convencionais por motores de alto rendimento, pois motores convencionais são produzidos com materiais de qualidade inferior aos de alto rendimento, o que resulta em perdas maiores pela sua própria forma construtiva. Já a utilização de materiais de alta qualidade, com um projeto mais otimizado e de grande performance, implica em motores que consomem menos energia, produzem potência equivalente, operam em uma maior faixa de temperatura e fator de serviço maior.

Sabe-se que a potência entregue no eixo do motor elétrico é menor do que a potência de alimentação, ou seja, rendimento, porém, o que causa tais diferenças são as perdas internas do motor, das quais podemos citar:

- Perdas por efeito Joule nas bobinas de estator e rotor, perdas no cobre;
- Perdas magnéticas no estator e rotor em virtude do efeito de histerese e das correntes induzidas, perdas no ferro;
- Perdas por má ventilação;
- Perdas por atrito dos mancais, perdas mecânicas.

Outra perda, referente ao sistema elétrico, são as quedas de tensões causadas pelos acionamentos dos motores, quando estes são dimensionados de forma errada o que gera perturbações e agrava as condições de segurança do processo.

Na próxima seção, além de verificarmos os dados de placa dos motores, analisaremos pontos importantes sobre a instalação e principais aspectos para considerar na seleção de um motor.

Reflita

Conhecendo as perdas geradas pelos sistemas que compõem a aplicação, seja elétrico ou mecânico, sempre há possibilidades de minimizar o impacto.

De acordo com Litman, Maccoy e Douglass (1990), estima-se que as perdas por efeito joule e dispersão, tanto no estator quanto no rotor, variam de 10% a 55%, porém, as ações para redução desse efeito estão associadas à engenharia construtiva do motor. Já as perdas mecânicas por atrito e ventilação, variam de 5% a 15%.

Pense e discuta com os demais na sala de aula, sobre quais seriam as boas práticas com o intuito de minimizar essas perdas.

Sem medo de errar

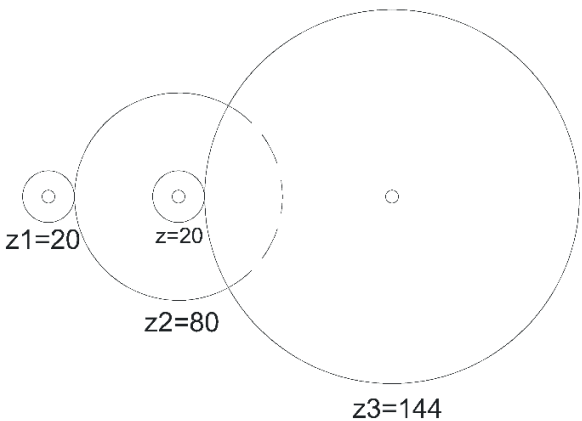
Retornando à empresa KLS acionamentos, na primeira etapa do projeto você desenvolveu um diagrama representativo com as informações bases de um acionamento para motores elétricos.

Pelo bom resultado entregue na primeira fase do projeto, você foi escalado para compor a segunda fase, na qual o cliente forneceu

alguns dados sobre o sistema mecânico que comporá a máquina de envase. De acordo com o cliente, o motor elétrico será acoplado diretamente ao sistema mecânico, que tracionará a rosca sem fim do envase, usando talvez uma caixa de redução com acoplamento direto, ou outro sistema que possa controlar a velocidade. O motor elétrico que o cliente possui estava há um certo tempo parado e a placa de identificação descreve a rotação nominal com 1800 rpm.

Deseja-se saber, antes de passar para a próxima fase do projeto, qual a velocidade final na carga adicionada se a caixa de redução possui os módulos Z_1=20, Z_2=80 e Z_3=144, conforme ilustrado na Figura 1.17. Você seria capaz de definir qual a relação entre força, torque e potência? Qual outro sistema de acionamento poderia ser utilizado para controlar a velocidade?

Figura 1.17 | Sistema de transmissão mecânica fornecido pelo cliente



Fonte: elaborada pelo autor.

Para calcular a relação de transmissão que resulta na potência de saída para o envase da máquina, usaremos a seguinte relação de engrenagens:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Note que o sistema de transmissão utilizado possui dois estágios, pinhão de Z_1 para coroa de Z_2, pinhão central de Z_2 para coroa de Z_3. Consequentemente, teremos uma potência no primeiro estágio que alimenta o segundo estágio e sua potência de saída.

- 1º estágio: Z_1=20, Z_2=80 e n_1=1800 rpm
  - $\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$
  - $\frac{1800}{n_2} = \frac{80}{20}$
  - $n_2 = 450 \text{ rpm}$
- 2º estágio: Z=20, Z_3=144 e n_1=450 rpm
  - $\frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$
  - $\frac{450}{n_2} = \frac{144}{20}$
  - $n_2 = 62,5 \text{ rpm}$

Para esse sistema de transmissão de potência acoplado em um motor de 1800 rpm, obtém-se na saída uma velocidade de 62,5 rpm.

Avançando na prática

Definindo o sistema de transmissão mecânica para o elevador de carga

Descrição da situação-problema

Retornando ao elevador de carga da siderúrgica, com as informações de altura entre os pavimentos de 6 metros, velocidade crítica de 0,8 m/s, e carga máxima de 6200 N. O motor elétrico encontrado possui potência de 4960 W, ou 6,74 cv, e nesse caso será utilizado um de 8 polos, ou seja, 900 rpm. Têm-se disponíveis 4 polias duplas: 60 mm, 100 mm, 180 mm e 220 mm. Por serem duplas, significa que é possível o acoplamento direto ou sequencial das polias. Deseja-se saber o quanto de rotação cada conjunto de polias pode oferecer de saída para que seja possível projetar um acionamento dentro dessas características.

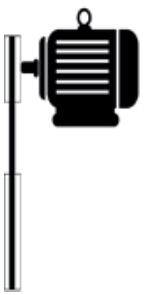
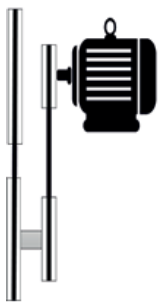
Resolução da situação-problema

Pois bem, a relação de potência para polia poderá ser definida por: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$.

Lembre-se de que o que desejamos é um sistema redutor, dessa forma, as polias menores é que transmitem potência para as polias maiores.

O Quadro 1.4 possui os modelos e possibilidades de resultado com os conjuntos de polias, você preencherá com os valores encontrados.

Quadro 1.4 | Valores de rotação para conjuntos de polias

Transmissão	Cálculo	
Duas Polias. • 60 mm – 100 mm	$\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$ $\frac{900}{n_2} = \frac{100}{60}$ $n_2 = \frac{900 \times 60}{100} = 540 \text{ rpm}$	
Duas Polias. • 60 mm – 180 mm	$n_2 = \frac{900 \times 60}{180} = 300 \text{ rpm}$	
Duas Polias. • 60 mm – 220 mm	$n_2 = \frac{900 \times 60}{220} = 245,45 \text{ rpm}$	
Três Polias (lembre-se de que em sistemas de acoplamento direto as polias intermediárias são irrelevantes nos cálculos, o que importa é a relação da motora e da movida). • 60 mm – 100 mm – 180 mm	$n_2 = \frac{900 \times 60}{180} = 300 \text{ rpm}$	
• 60 mm – 100 mm – 220 mm	$n_2 = \frac{900 \times 60}{220} = 245,45 \text{ rpm}$	
Quatro polias em sistemas de estágios, pois se fossem de acoplamento direto as polias intermediárias poderiam ser desconsideradas nos cálculos. Para o 1º estágio de transmissão: • 60 mm – 100 mm Para o 2º estágio de transmissão: • 180 mm – 220 mm	1º estágio: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$ $\frac{900}{n_2} = \frac{100}{60}$ $n_2 = \frac{900 \times 60}{100} = 540 \text{ rpm}$ 2º estágio: $\frac{n_2}{n_3} = \frac{D_3}{D_2}$ $\frac{540}{n_3} = \frac{220}{180}$ $n_3 = \frac{540 \times 180}{220} = 441,82 \text{ rpm}$	

Quatro polias em sistemas de estágios. Para o 1º estágio de transmissão: • 60 mm – 180 mm Para o 2º estágio de transmissão: • 100 mm – 220 mm	1º estágio: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$ $\frac{900}{n_2} = \frac{180}{60}$ $n_2 = \frac{900 \times 60}{180} = 300 \text{ rpm}$ 2º estágio: $\frac{n_2}{n_3} = \frac{D_3}{D_2}$ $\frac{300}{n_3} = \frac{220}{100}$ $n_3 = \frac{300 \times 100}{220} = 136{,}36 \text{ rpm}$	

Fonte: elaborado pelo autor.

Agora que já é sabido o quanto de rotação cada conjunto de polias pode oferecer de saída com as polias fornecidas, a próxima etapa deste projeto é garantir que o sistema atenda às especificações: subir uma carga de 6 m, a uma velocidade de 0,8 m/s. Para isso, é preciso calcular qual seria a velocidade necessária na saída, quando a última polia for ou a de 100, ou a de 180 ou 220 mm e verificar qual configuração atende a esse requisito.

Faça valer a pena

1. Na construtora ConstruFácil o concreto é feito em uma betoneira que foi instalada no primeiro pavimento dos oito a serem feitos. Vendo a dificuldade e o tempo perdido no atual sistema de deslocamento das latas de concreto, o mestre de obra solicitou ao técnico que desenvolva um projeto com a finalidade de solucionar essa dificuldade. Cada lata pesa em média 50 kg ou 492 N, e através de um sistema de polias e cordas o ajudante da obra gasta em torno de 24 segundos para levar a lata até o 3º andar, aproximadamente 8 metros.

Para ser viável o projeto, a eficiência do sistema tem de ser, no mínimo, 15 segundos, e deve poder levantar o dobro do peso atual. Ajude o técnico e marque a opção com os dados do projeto em termos de velocidade, força total, potência em watts e em cv.

a) V_p= 0,33 m/s, F= 984 N, P= 324,7 W, P= 0,44 cv.

b) V_p= 0,53 m/s, F= 984 N, P= 521,5 W, P= 0,7 cv.

c) V_P= 0,33 m/s, F= 984 N, P= 521,5 W, P= 0,7 cv.
d) V_P= 0,53 m/s, F= 984 N, P= 324,7 W, P= 0,44 cv.
e) V_P= 1,88 m/s, F= 984 N, P= 523,4 W, P= 0,7 cv.

2. Para comprovar os cálculos dos sistemas de transmissão mecânica, um técnico pegou alguns conjuntos de polias e engrenagens com intuito de encontrar o de menor redução e poder aplicar em seu projeto com acionamento em partida direta. O projeto já possui um motor elétrico trifásico de 0,25 cv ligado em 220 V na rede de 60 Hz. Ao medir a rotação do eixo, usando um tacômetro, verificou algo próximo de 1000 rpm.
Os conjuntos são:
Três engrenagens acopladas em série, diretamente, com dentes iguais a Z1= 100, Z2= 200 e Z3= 250;
Duas polias de diâmetro D1= 50 mm e D2= 200 mm;
Quatro engrenagens em 2 estágios, Z1= 50, Z2= 100 e pinhão de 50 dentes, e no 2º estágio Z3= 250;
Quatro polias em 2 estágios, D1= 50, D2= 100 e pinhão de 50 mm, e no 2º estágio D3= 200.
Analise a alternativa que possui a melhor redução.
a) Somente a I está correta.
b) Somente a II está correta.
c) Somente a III está correta.
d) Somente a IV está correta.
e) III e IV estão corretas.

3. Ao selecionar algumas polias para aplicar no projeto de um pequeno ventilador da granja, o Sr. João anotou algumas medidas, porém, ficou com dúvida sobre quais utilizar. Esse ventilador precisa manter uma rotação de 2800 rpm para que o galpão de frangos fique bem fresco. Sendo que o motor que o Sr. João possui é de 1800 rpm, trifásico de 3 cv.
Marque a opção que melhor apresenta a relação do sistema, redução ou ampliação, e quais são as medidas de que ele precisa para concluir o projeto.
a) Menor diâmetro para polia motora, maior diâmetro para polia movida, redução de velocidade.
b) Maior diâmetro para polia motora, menor diâmetro para polia movida, redução de velocidade.
c) Menor diâmetro para polia motora, maior diâmetro para polia movida, ampliação de velocidade.
d) Maior diâmetro para polia motora, menor diâmetro para polia movida, ampliação de velocidade.
e) Maior diâmetro para polia motora, maior diâmetro para polia movida, ampliação de velocidade.

Seção 1.3

Características dos motores elétricos

Diálogo aberto

Estamos chegando ao término da unidade, esperamos que você seja capaz de definir o que é acionamento, compreenda a diferença entre os tipos de motores elétricos e saiba identificar os blocos estruturais de um sistema de acionamento elétrico.

Tendo esses conceitos bem claros, somados aos fundamentos de cargas e sistemas mecânicos, conforme estudado na seção anterior, pode-se dizer que você estará apto a analisar e propor soluções.

Esta seção trará a você a competência para identificar os dados de um motor elétrico e as formas de instalação. Fechando a seção, veremos algumas boas práticas no momento da instalação, bem como cuidados na hora de fazer o seu acionamento. Os próximos passos serão os dimensionamentos dos acionamentos elétricos para o tipo de aplicação e motor elétrico escolhido.

Agora é o momento de fechar a terceira etapa do projeto que você está desenvolvendo na empresa KLS Acionamentos. Para tanto, foi feita uma visita ao local em que a máquina de envase do cliente será instalada. Tanto a equipe como você observaram a presença considerável de umidade e bastante poeira. Ao retornar para o escritório da empresa, você levou consigo o motor para testes no laboratório. Conforme as condições do ambiente em que visitaram, qual o tipo de carcaça do motor seria mais adequado para esse tipo de aplicação? Para melhor detalhar a proposta de projeto, quais são as perdas que você e sua equipe analisam que podem ocorrer em um motor? Ao energizar o motor no laboratório, simulando a aplicação em que será instalado, você percebeu um sobreaquecimento do mesmo. Você seria capaz de indicar quatro possíveis problemas e quais seriam as possíveis soluções para este sobreaquecimento?

Finalizando essa terceira parte, o projeto para o cliente da máquina de envase estará bem definido e, com os relatórios dos resultados das etapas anteriores, poderemos prosseguir para o dimensionamento dos componentes.

Bons estudos.

Não pode faltar

Características relevantes dos motores elétricos

A escolha de um motor elétrico não é aleatória. É necessário conhecer o tipo de sistema de acionamento, as características do ambiente e a forma como será instalado, esses são apenas alguns dos pontos a serem considerados ao especificar qual o melhor motor elétrico para nosso projeto.

Independentemente do tipo do motor, CA ou CC, ele deve satisfazer as necessidades da aplicação em potência, capacidade de ventilação, eficiência, rendimento e detalhes na forma construtiva. Devido ao grau de importância e quantidade de informações, posteriormente será feita uma abordagem dos dados de placa e da forma construtiva.

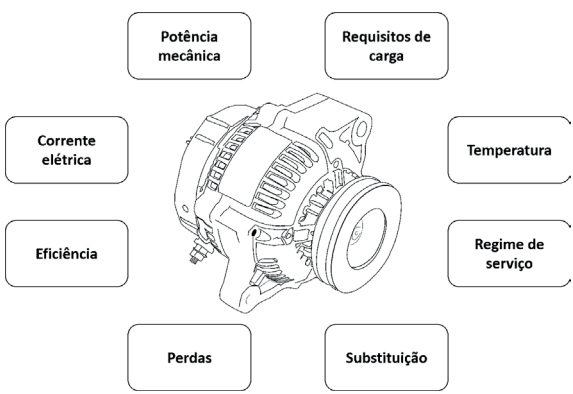
Lembre-se

Tanto para motores CA e CC, temos modelos construtivos diferentes com capacidades variadas, que foram desenhadas para aplicações específicas.

Existem os motores para aplicações em ambientes hostis e até ambientes livres de contaminação, assim como temos os motores de aplicação universal e motores dedicados, como os motores CC usados em máquinas computadorizadas para usinagem de precisão, os CNC (Comando Numérico Computadorizado).

Através da Figura 1.18 são mostradas algumas das principais características e, em seguida, a definição das mesmas.

Figura 1.18 | Características relevantes para especificar motores elétricos



Fonte: elaborada pelo autor.

- Potência mecânica: dada em Watts, é definida pela relação torque e velocidade, ou representada na equivalência de cavalo-vapor, cv.
- Corrente elétrica: pode-se definir em corrente a plena carga, corrente de rotor bloqueado (pico máximo de corrente durante a partida) e corrente de fator de serviço (em casos de operação em sobrecarga). Em termos construtivos, modela o tamanho da caixa de conexão para cabos condutores vindos dos elementos de manobra e proteção.
- Eficiência: é definida pelo valor de saída sobre o valor de entrada; em se tratando de motores, temos a relação entre a potência mecânica de saída e a potência elétrica de entrada. Para categorizar um motor elétrico dentro dos valores de eficiência, geralmente de 75 a 98%, ele deverá consumir menos energia e o desempenho deve ser igual ou maior que os valores de plena carga fornecidos pela norma NEMA MG-1. Quando utilizamos de partidas simples, sejam diretas ou indiretas, não é possível fazer um controle de velocidade de saída com relação à demanda da carga, sendo necessário, de acordo com a necessidade e a aplicação, o uso de partidas por chaves eletrônicas ou conversores de frequência.
- Perdas: o ideal é que a potência elétrica de entrada do motor seja convertida no eixo do rotor em potência mecânica, mas ocorrem perdas nesse sistema. As perdas foram citadas na seção anterior, caso não se lembre, recomendamos que retorne e tome nota sobre as perdas no núcleo, perdas de resistência no estator e rotor, perdas mecânicas e perdas por correntes parasitas.
- Temperatura: se tudo estiver bem dimensionado e o motor operando nas condições favoráveis quanto ao IP (grau de proteção), os problemas que podem surgir são referentes à temperatura, tanto externa quanto interna do motor. Como meio de solução, podemos ter o uso de ventiladores forçados acoplados na parte traseira do motor que funcionam independentes da velocidade do motor, atuando, assim, de forma direta e proporcional sobre a temperatura da massa de calor que está em volta do mesmo.

- Temperatura ambiente: grande parte dos motores são projetados para trabalhar em ambientes com temperatura de 40ºC, em casos específicos podem ser projetados para temperaturas ambientes maiores, o que já considera a partida e o estado de funcionamento do motor em plena carga e contínuo;
- Perdas por aumento de temperatura: o calor afeta diretamente o aumento da temperatura, que por sua vez potencializa as perdas elétricas e mecânicas;
- Perdas por diminuição da temperatura: em aplicações mais específicas, em que o motor poderá operar nas temperaturas abaixo de -20ºC, torna-se um problema. Primeiro, com a condensação é necessária maior drenagem ou instalação de resistência de aquecimento. Outro ponto é a formação de gelo nos mancais, o que resulta em enrijecimento do meio lubrificante, exigindo a utilização de lubrificantes especiais (anticongelante);
- Classe de isolamento: letra que categoriza a capacidade do motor em suportar certo nível de temperatura sem comprometer a isolação. Importante observar que a soma das temperaturas ambiente, ponto quente e de aumento, não podem ultrapassar a temperatura de projeto do isolamento.

- Requisitos de carga: foram apresentados na última seção, de modo que os requisitos estão diretamente ligados à escolha do motor, pois o objetivo é atendermos à aplicação com um acionamento que forneça torque, potência e velocidade.
- Substituição: substituição de motores ocorre pelo tempo de uso, visto que o motor poderá ser rebobinado, porém, há perda considerável em sua eficiência e por incompatibilidade com o mercado local, por exemplo, máquinas importadas com motores IEC ou NEMA. Caso surja a necessidade de troca, consideramos:
  - Potência mecânica (conversão de kW em cv);
  - Frequência de trabalho (50 Hz ou 60 Hz);
  - Dimensões mecânicas (carcaça, flange, eixo do rotor etc.);
  - Modelo da carcaça ou grau de proteção (aberto, fechado, IP);

- Classe de isolamento;
- Regime de serviço.

Análise de motores elétricos sobre a forma construtiva

A forma construtiva poderá ser analisada em três aspectos: carcaça, fixação e acoplamento.

Na seção anterior, vimos os modelos de motores em sua forma construtiva com relação à fixação e ao acoplamento (flange e pés). Nesta seção você estudará sobre os projetos de carcaça, que são categorizados, basicamente, em carcaça aberta e fechada.

A carcaça é o invólucro que protege as bobinas do ambiente externo, ao mesmo tempo, serve como suporte do eixo e, se aplicável, do ventilador de resfriamento.

- Motores com carcaça aberta à prova de gotejamento – ODP (*Open Drip-Proof*) – estão expostos e poderão receber gotas de líquidos ou pequenos corpos sólidos. Grande parte das aplicações industriais utilizam desse projeto de motor, desde que o ambiente apresente pouca poeira e seja livre do contato com partículas perigosas, por exemplo, cavacos metálicos, faíscas, entre outros, que poderão comprometer a isolação dos condutores da bobina ou danificar o eixo do rotor. Ilustrado pela Figura 1.19 (a).
- Motores com carcaça totalmente fechada arrefecidos por ventiladores – TEFC (*Totally Enclosed, Fan-Cooled*) – são os motores mais fechados que os de projeto ODP, possuem ventiladores instalados na parte contrária à do eixo de saída. São aplicados em ambientes mais expostos à poeira e bastante úmidos. Ilustrado pela Figura 1.19 (b).
- Motores com carcaça totalmente fechada não ventiladas – TENV (*Totally Enclosed Nonventilated*) – utilizam da própria carcaça para dissipar a temperatura interior em torno de si, e o ar ambiente é quem flui pela estrutura fazendo a troca de calor. São comuns em setores têxteis, em que os pequenos fiapos dos tecidos poderiam enrijecer o rolamento que acopla o eixo, criando uma carga indesejada. Por não terem nenhum sistema de arrefecimento, são de pequenas potências. Ilustrado pela Figura 1.19 (c).

É importante frisar aqui que os modelos ODP, TEFC e TENV são indicados pela norma NEMA, quando se tratam de normas IEC, usamos o grau de proteção IP, (proteção para entrada de objetos sólidos e líquidos).

Figura 1.19(a) | Carcaça ODP

Fonte: <http://www.weg.net/files/photos-products/ODP-azul-B3D-G.jpg>. Acesso em: 3 out. 2017.

Figura 1.19(b) | Carcaça TEFC

Fonte: <http://www.weg.net/files/photos-products/W22-coolingtower-usa-G.jpg>. Acesso em: 3 out. 2017.

Figura 1.19(c) | Carcaça TENV

Fonte: <http://www.weg.net/files/photos-products/TENV-Vector-Duty-Motor-G.jpg>. Acesso em: 3 out. 2017.

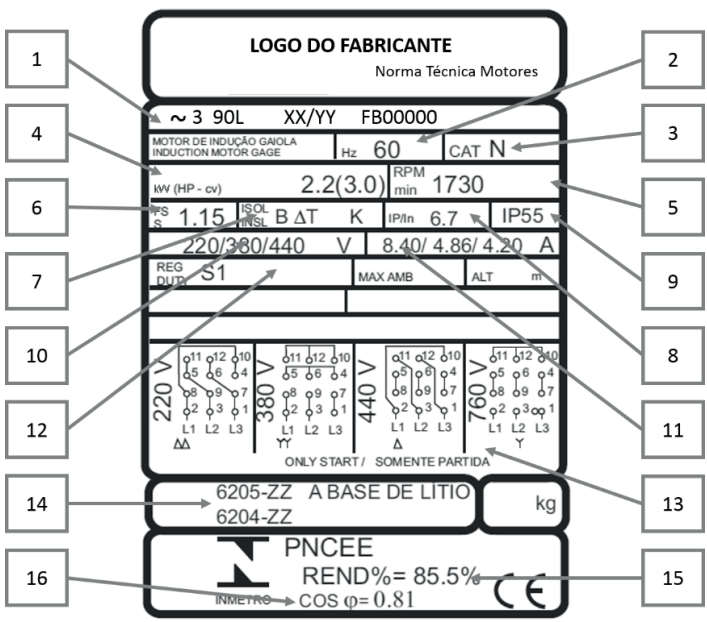
Há ainda os motores cujos projetos de carcaça são desenvolvidos para ambientes de riscos explosivos, classe I, ou inflamáveis, classe II. Como classe I, entende-se que o motor será exposto a líquidos, vapores e gases explosivos, e a estrutura projetada evita o contato ou reação entre e motor e condições ambientes. Na classe II, temos os ambientes de ignição de poeira, como poeiras de carvão, grãos, farinha e de combustíveis.

Leitura de dados através da placa de identificação dos motores elétricos

Através da placa de identificação, conseguimos dados importantes e necessários tanto na operação como no desenvolvimento do acionamento.

A Figura 1.20 exemplifica o modelo de placa de identificação que vem junto ao motor.

Figura 1.20 | Modelo de placa de identificação de motor elétrico



Fonte: elaborada pelo autor.

1. Campo que identifica o tipo de rede elétrica em que o motor poderá ser instalado e o tipo do motor em termos de sistema elétrico, seguido do tipo de carcaça, data de fabricação e número de lote. Na Figura 1.20, temos no campo 1: Corrente alternada (~), motor trifásico (3), carcaça 90L, fabricado em Mês/Ano (XX/YY), pertencente ao lote FB00000.
2. Frequência da rede elétrica em que o motor poderá ser instalado.
3. Categoria do conjugado: conforme norma NBR17094.
4. Potência do motor dada em kW e cv.
5. Rotação nominal do eixo do motor sob carga nominal.
6. Fator de serviço, que se trata do fator que indica a capacidade de sobrecarga contínua permissível que pode ser aplicada ao motor, oferecendo uma margem de segurança em condições desfavoráveis ao motor.
7. Classe de isolação, que é definida pelas categorias A, E, B, F e H, sendo consideradas as temperaturas ambientes e temperaturas nas ranhuras, ou carcaça do motor. Porém, a temperatura não é uma função linear, então, por norma, mesmo o motor obedecendo às categorias de isolação, é obrigatório operar em certa porcentagem abaixo do máximo definido. Assim, garantimos o bom funcionamento e vida útil do motor. A O Quadro 1.5 apresenta os dados de cada categoria.

Quadro 1.5 | Classe de isolação para motores de indução trifásico, ABNT NBR17094-1

Classe	Temperatura máxima (ºC)	Temperatura ambiente (ºC)	Valor a ser considerado para operação (%)	Aplicações
A	105	40	10	Normais
E	120	> 40	10	Especiais
B	130	> 40	10	Especiais
F	155	> 40	10	Especiais
H	180	> 40	15	Especiais

Fonte: elaborada pelo autor.

8. Número de vezes que a corrente de partida é maior que a nominal. Para obter o valor da corrente de partida, é necessário saber a correte nominal para aplicarmos a seguinte fórmula:

$$I_P = \frac{I_P}{I_N} \times I_N .$$

9. Grau de proteção, que é definido pela norma *NBR IEC 60529 - Graus de proteção providos por invólucros* (Códigos IP), substituta da *NBR 6146* desde 2005. Em motores elétricos, apenas dois dígitos são utilizados, sendo o primeiro para proteção de corpos sólidos e o segundo para proteção contra líquidos.
10. Tensões nominais do motor. Geralmente os motores suportam mais de duas tensões diferentes para funcionamento, conforme o seu esquema de ligação das bobinas.
11. Corrente nominal do motor, que varia conforme a tensão em que o motor será ligado na rede.
12. Regime de serviço, que diz sobre como o motor irá se comportar em relação ao tipo de carga e acionamento que podem causar elevadas temperaturas em curto espaço de tempo. O regime é defino pela norma *NBR17094*. O Quadro 1.6 mostra os regimes normalizados.

Quadro 1.6 | Regime de serviço para motores de indução trifásico, ABNT NBR17094-1

Regime de serviço	Característica
S1	Regime contínuo
S2	Regime de tempo limitado
S3	Regime intermitente periódico
S4	Regime intermitente periódico com partidas
S5	Regime intermitente periódico com frenagem elétrica
S6	Regime de funcionamento contínuo periódico com carga intermitente
S7	Regime de funcionamento contínuo periódico com frenagem elétrica
S8	Regime de funcionamento contínuo periódico com mudanças correspondentes de carga e rotação
S9	Regime com variações não periódicas de carga e rotação
S10	Regime com cargas e rotações contínuas distintas

Fonte: elaborado pelo autor.

13. Tipos de conexão dos enrolamentos ou, como conhecido em campo, o tipo de fechamento feito nos condutores do enrolamento para acionamento.
14. Neste campo temos os tipos de rolamentos utilizados no projeto do motor elétrico, presentes no eixo do rotor tanto na parte dianteira como na traseira, na Figura 1.21 foi utilizado o tipo 6205-zz e 6204-zz, que são rolamentos rígidos radiais esféricos. Na mesma linha de identificação do campo 14 há o tipo de lubrificante utilizado.
15. Rendimento: é a relação entre potência ativa produzida pelo motor e a potência ativa solicitada à rede elétrica para o funcionamento do motor.
16. Fator de potência é uma relação entre a potência ativa e potência reativa, indicando a eficiência do uso da energia. O adequado para o sistema elétrico seria manter o fator de potência próximo a 1 (um).

Reflita

Diversas vezes foram citadas as decorrências depreciativas do aquecimento nos motores, pois seu efeito é capaz de reduzir a vida útil pela metade. Quando há uma elevação de 10 °C na temperatura de isolação, vemos ser provocado o envelhecimento do isolamento, chegando ao limite, que é quando acontece um curto-circuito interno, inviabilizando em muitos casos a manutenção ou comprometendo a estrutura mecânica do motor. Porém, a vida útil dos motores está associada, também, a outros efeitos sobre a ótica das condições de instalações, como umidade, vapores corrosivos, vibrações, contato com agentes químicos e abrasivos etc.

Assimile

Analisamos o rendimento do motor em termos de potência nominal e potência mecânica.

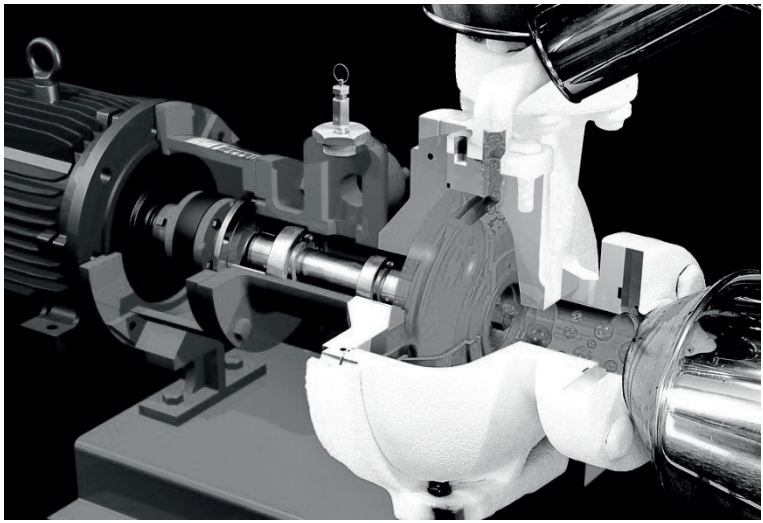
Em função da potência nominal, há perdas consideráveis quando o motor é de baixa potência nominal. Lembre-se da disciplina de máquinas elétricas: temos uma corrente considerável de armadura, juntamente com as resistências ôhmicas dos condutores que elevam as perdas no enrolamento de armadura. Dessa forma, a indução para o enrolamento do rotor será bem baixa. Quando se aumenta a potência nominal, o rendimento ficará maior.

Em função da potência mecânica, ou seja, potência no eixo do motor, a concepção é que o motor deve trabalhar com a carga próxima do que foi projetado, assim, seu rendimento será maior ou próximo ao valor indicado na placa. Trabalhando com baixas cargas, o rendimento diminui devido às perdas entre armadura e rotor.

Pontos importantes para instalação e acionamento de motores elétricos

Observe a Figura 1.21. Ela ilustra uma pequena aplicação em que o motor é o propulsor de uma bomba centrífuga de líquidos. Essa aplicação pode ser feita com motores chamados motobombas periféricas, ou, como na figura, motores elétricos cuja tampa dianteira seja um flange para acoplamento com a bomba centrífuga ou turbina.

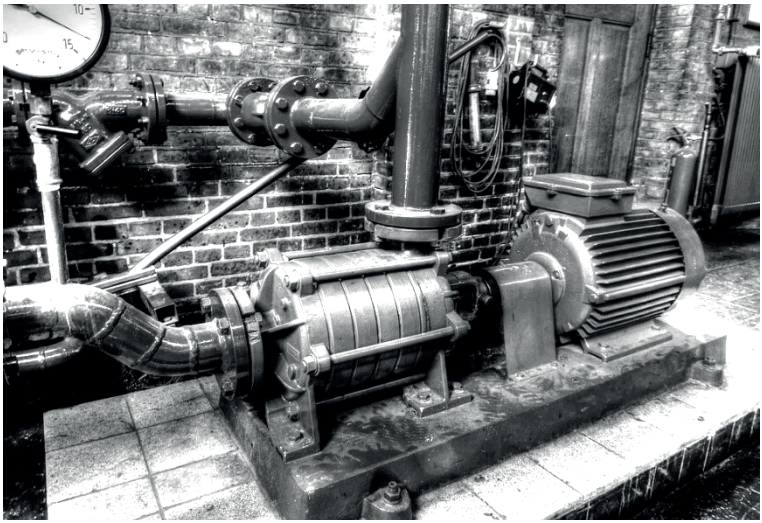
Figura 1.21 | Motor com flange acoplada em uma bomba centrífuga



Fonte: <https://pixabay.com/pt/bomba-am%C3%B4nia-nh%C2%B3-refrigera%C3%A7%C3%A3o-1758554/>. Acesso em: 15 nov. 2017.

A Figura 1.22 mostra uma aplicação real, com as tubulações e fundações.

Figura 1.22 | Aplicação da bomba centrífuga



Fonte: <https://pixabay.com/pt/bomba-bomba-centr%C3%ADfuga-ind%C3%BAstria-2338716/>. Acesso em: 15 nov. 2017.

O motor possui diversas formas de fixação, como já foi visto nesta seção, dando liberdade de posição e angulação, seja por pés ou flange, diretamente acoplado em máquinas ou possuindo uma fundação, como na Figura 1.22. Em ambas superfícies, é desejado o mínimo de vibração e que seja possível o alinhamento entre motor e carga.

Com relação à fixação, o que determina a forma como será instalado é a própria aplicação. Há casos em que os pés, especificamente, são parafusados ou mesmo soldados. Na visão de manutenção, ter motores soldados nas estruturas de apoio ou da máquina significa que ocorrerá um desalinhamento muito pequeno ou praticamente nulo, analisando o lado do motor; porém, se ocorrer a necessidade de substituição, será um dificultador bastante considerável.

Outro aspecto a ser considerado é o alinhamento de motor e de carga, sendo que o desalinhamento provoca vibração e falhas no sistema mecânico, por exemplo, rolamento do motor, rolamento da carga, entre outros. Quando o motor é posto em aplicações com acoplamento direto, significa que torque e velocidade possuem relação 1:1. Nesses casos, o eixo do rotor tem de estar centralizado com o eixo da carga, sendo admissível um leve desalinhamento suportado pelo acoplamento flexível.

Nas aplicações que demandam baixa velocidade e alto torque, usa-se o acoplamento por sistema de transmissão de potência, como já estudado, além das engrenagens ou polias/correias. O alinhamento para deixar os eixos centrados pode ser feito com calço (pedaço fino de metal) nos pés do motor, ou de forma mais exata e precisa com o alinhamento a laser. Em casos de polia/correia é utilizado o medidor de tensão da correia, evitando que fique frouxa ou apertada, se frouxa pode escorregar e não haverá contato; se apertada haverá sobrecarrega nos rolamentos dos eixos.

Em termos de acionamentos elétricos, algumas observações deverão ser feitas:

- Aterramento: tanto para o motor quanto para o equipamento e a estrutura que esteja passível de contato, recomenda-se o aterramento como precaução a choques elétricos e descargas eletrostáticas. Além da proteção, ajuda a reduzir os ruídos elétricos indesejados.
- Níveis de tensão: os motores são projetados para operar dentro de uma faixa menor que 10% da tensão elétrica informada na placa de identificação, pois para uma porcentagem maior, significa que há um desbalanceamento entre fases que afetarão negativamente o desempenho do motor e sua vida útil de serviço.

Para o bom funcionamento dos motores elétricos e para prolongar a vida útil dos mesmos, a manutenção preventiva regular só tem a somar. Recomenda-se que nos registros de manutenção seja feito um checklist, que vai desde a inspeção dos sistemas mecânicos até os acionamentos elétricos que envolvem os motores.

Pesquise mais

O livro *Motores Elétricos e Acionamentos*, do autor Frank D. Petruzella, apresenta uma abordagem muito interessante e bastante importante para sua formação sobre análise de defeitos.

Os temas são:

- Guia de análise de defeitos – páginas 167 e 168;
- Quadro de análise de defeitos – páginas 169 e 170;
- Fluxograma de análise de defeitos – páginas 171 e 172.

O material poderá ser encontrado na biblioteca virtual da Kroton através do parceiro Minha Biblioteca, ou através do link <https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/5>.

Referência completa da obra:

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. 13. ed. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Série Tekne. Porto Alegre: AMGH, 2013. 372 p.

Exemplificando

A empresa ProdutosJá, responsável por separar e entregar as mercadorias de varejistas aos clientes finais, utiliza um sistema transportador com três esteiras equipadas por: sensores de barreira, fazendo a contagem de pacotes que entram e saem, e sensores que fazem a leitura dos códigos de barra e enviam a informação ao controlador para acionar os atuadores que farão a separação dos produtos, conforme estratégia de logística.

Ambas esteiras são de torque constante, com um motor elétrico de 1,5 cv, 8 polos, ligado em 380 V trifásico, acoplado por uma caixa de redução cuja saída é de 50 rpm.

Após certo tempo de operação, os motores estão aquecendo e parando, fazendo com que o serviço fique atrasado.

Com a análise do técnico contratado, foram relatadas as seguintes observações:

- Os motores são do tipo ODP, com bastante poeira devido ao telhado ser de amianto e ao galpão estar constantemente com as portas abertas. É uma constatação provável, visto que a poeira pode ter criado uma camada grossa em torno do motor e está impossibilitando a ventilação, além de ter poeira enrijecendo os rolamentos e possivelmente diminuindo a eficiência do resfriamento, obstruindo a entrada e saída de ar do ventilador.
- Temperatura ambiente agradável, em torno de 27°C, o que não se torna um fator de risco.
- Recalculando o motor necessário nesta aplicação, constatou-se que seria necessário algo próximo de 1,37 cv, ou seja, o motor atual está bem dimensionado e esta não será a causa do problema.
- Em conversa com o supervisor, o problema começou depois que colocaram alguns novos equipamentos no galpão, o que era estranho, pois esse transportador é acionado cedo e desligado somente à noite. Ou seja, poucas partidas. Mas será necessário observar como

esses novos equipamentos foram instalados, pois possivelmente há um desiquilíbrio entre as fases.

Fazendo os testes na rede que alimenta o motor, o técnico detectou os seguintes valores: 381 V, 335 V e 333 V.

Usando o cálculo para encontrar a porcentagem de desequilíbrio, que consiste em: (1) obter a diferença entre a tensão nominal; (2) obter a média das tensões coletadas, ou seja, somar as tensões entre fases e dividir pela quantidade de medições; (3) dividir o valor encontrado pela média e multiplicar por 100 para obter a porcentagem de desequilíbrio:

- (2) $\frac{(335+333+381)}{3} = 349{,}67\ \text{V}$
- (1) $380 - 349{,}67 = 30{,}33\ \text{V}$
- (3) $\frac{30{,}33}{349{,}67} \times 100 = 8{,}67\ \%$

O valor de desequilíbrio está muito alto e próximo do máximo permitido para o motor elétrico.

Aprofundando mais sobre o motivo dos valores encontrados, o técnico verificou que a empresa não tem um gerenciamento de distribuição de carga e, com isso, as fases R e S estavam sobrecarregadas. Outro motivo detectado diz respeito à resistência e isolação dos condutores. Usando o megômetro, devido a um baixo valor de resistência entre fases, o técnico encontrou um condutor na calha de passagem de cabos com a isolação comprometida.

Em seguida, foi feita a limpeza da carcaça, a limpeza do sistema de ventilação, a troca do rolamento do rotor e a limpeza do painel elétrico.

Ao reiniciar o transportador e acompanhar o processo durante um tempo, o problema foi solucionado.

Sem medo de errar

Agora é o momento de fechar a terceira etapa do projeto que você está desenvolvendo na empresa KLS Acionamentos. Para tanto, foi feita uma visita ao local em que a máquina de envase do cliente será instalada. Tanto a equipe como você observaram a presença considerável de umidade e bastante poeira. Ao retornar para o escritório da empresa, você levou consigo o motor para testes no laboratório. Conforme visita técnica no local em que o projeto em desenvolvimento pela KLS Acionamentos será instalado, foi detectado

pela equipe e você as condições severas do ambiente, como umidade e poeira. O motor elétrico cedido pelo cliente passará por uma análise mais detalhada com relação aos dados da placa de identificação, carcaça e condições gerais para funcionamento. Foi questionado a você qual o tipo de carcaça mais adequado nesta aplicação, quais as perdas previstas e as possíveis soluções para o aquecimento do motor elétrico quanto energizado. Primeiramente, pensando nas condições ambientes, umidade e poeira, os motores do tipo ODP não são indicados, por terem aberturas diretas ao enrolamento. Os de modelo TEFC são os mais indicados, pois as carcaças são fechadas, há ventiladores instalados no próprio motor. Se a velocidade final do rotor for baixa, não sendo suficiente para a ventilação, recomenda-se a instalação de ventilação forçada ou externa.

Sobre as perdas, pode ser relatado o efeito da temperatura ambiente, efeito da temperatura causada pela sobrecarga, desbalanceamento da rede elétrica, perdas do sistema mecânico de acoplamento e perdas por rendimento.

Identificar possíveis causas sem o conhecimento detalhado das condições de instalação, que inclui sistema mecânico, sistema de acionamento e ambiente de atuação, **não é tarefa simples**. De qualquer forma, aquecimento em motores pode ser causado quando:

- Temperatura ambiente exceder os 40ºC para motores de classe de isolação A;
    - Solução: diminuir a temperatura nem sempre é possível; quando isso ocorre, a recomendação é que se instale um sistema de ventilação forçado.
- Capacidade do motor no limite máximo;
    - Solução: substituir por um de maior potência.
- Sujeira e obstruções no motor;
    - Solução: limpar a carcaça, aspirar a poeira nos enrolamentos, remover qualquer obstrução que impeça a circulação de ar pela carcaça e tampa do ventilador, lubrificar os rolamentos ou mesmo trocar.
- Tensão de linha 10% maior ou menor que o indicado na placa de identificação do motor;

- Solução: verificar e identificar as causas dessa diferença de 10% no valor da tensão. Talvez seja interessante um regulador de tensão ou substituir por um motor que trabalhe com faixas maiores de tensões de trabalho.

Avançando na prática

Checklist de manutenção para motores elétricos

Descrição da situação-problema

A Pet Legal, empresa de fabricação de ração, possui muitos motores instalados, porém, não há uma regularidade quanto à manutenção dos equipamentos e às paradas por necessidades, ou seja, corretivas. Na reunião de setores, foi dada a ideia de adquirir um software de gerenciamento de manutenção e criar a cultura de manutenção preventiva, bem como criar uma rotina para essas paradas planejadas. O gerente de manutenção solicitou a você, responsável pelos acionamentos de motores elétricos, que desenvolvesse um checklist com os itens mais importantes e necessários a serem feitos durante uma manutenção planejada.

Resolução da situação-problema

Antes de começar a criar seu checklist, será interessante conhecer, de fato, a aplicação em que for atuar, pois não são só motores ou só acionamentos. Lembre-se de que tudo isso é um sistema, então deve ser projetado com atenção e mantido com seriedade.

Como sugestão, nesse cheklist você pode abordar o sistema mecânico que envolve os motores e, consequentemente, o sistema elétrico dos acionamentos:

- Sistemas mecânicos:
  - Conferir alinhamento dos eixos; aperto dos parafusos do flange; aperto dos parafusos da base do motor; tensão e condição da correia; analisar e eliminar vibrações e ruídos presentes no sistema; limpeza da grade de ventilação; limpeza da carcaça do motor; aspiração de resíduos ou líquidos no motor; lubrificação conforme manual; entre outros que identifique importante.

- Sistemas de acionamentos:
    - Isolação dos cabos condutores; troca das escovas de motores CC; limpeza do comutador de motores CC; aperto dos parafusos dos componentes do painel elétrico; verificar cabos soltos; analisar excesso de partidas e aquecimento do motor; controlar e verificar desbalanceamento da rede elétrica; controlar fator de potência etc.

Coloque essas informações em uma tabela, sendo cada linha da tabela um passo a passo, e uma coluna para colocar um "OK", validando cada etapa.

Faça valer a pena

1. A indústria de temperos, Tempero da Terra, está com problemas recorrentes em relação aos motores elétricos do tipo ODP que estão instalados nos misturadores. Os motores, com o tempo, estão aquecendo gradualmente e as carcaças ficando comprometidas. Para essa aplicação foram dadas as seguintes afirmativas:
Os motores, apesar de estarem corretamente dimensionados, não são de projetos específicos para serem instalados em ambientes severos, os quais exigem motores fechados, com pintura da carcaça exclusiva para tal aplicação ou de alumínio.
PORQUE
Em termos práticos, as carcaças ODP, por possuírem aberturas na tampa dianteira, permitem que o ar ambiente, e neste caso bastante severo por causa dos temperos, permeie os enrolamentos causando corrosão e oxidação.
Analisando essas afirmações, conclui-se que:
a) As duas afirmações são verdadeiras, e a segunda justifica a primeira.
b) As duas afirmações são verdadeiras, e a segunda não justifica a primeira.
c) A primeira afirmação é falsa, e a segunda verdadeira
d) A primeira afirmação é verdadeira, e a segunda é falsa.
e) As duas afirmações são falsas.

2. Analisando os dados de placa do motor com as condições ambientes, o técnico de manutenção elétrica constatou as seguintes afirmativas com o objetivo de validar seu relatório sobre o porquê de os relés de sobrecarga estarem atuando constantemente, mesmo que a soma das temperaturas esteja abaixo de 90°C.
Informação importante: em certos momentos do dia, a temperatura ambiente sai dos 37°C e chega por volta de 46°C, mas apenas em torno de uma hora.

I – Classe de isolação A permite que o motor trabalhe até uma temperatura de 105°C.
II – Como o motor é de baixa potência e modelo TEFC, não há necessidade de ventilação.
III – Os rolamentos são constantemente lubrificados e trocados, fazendo o alinhamento dos acoplamentos.
IV – A tensão na rede está com uma taxa de variação ruim, 4 a 6%.
Marque somente as opções que comprovam as análises feitas pelo técnico como corretas.
a) Todas estão corretas.
b) Somente a I está correta.
c) Somente a III está correta.
d) I e IV estão corretas.
e) Nenhuma das opções está correta.

3. Após analisar a planilha de manutenção corretiva das máquinas no setor de tecelagem, o técnico responsável planejou algumas rotinas para serem feitas na parada de manutenção preventiva. Dentre essas rotinas programadas, está a limpeza dos rolamentos e sistema de arrefecimento, além de analisar e calcular o nível entre as fases que alimentam as máquinas no setor. No dia da manutenção preventiva, o técnico detectou os seguintes valores nos condutores de fase: 218 V, 207 V e 202 V, para uma rede trifásica de 220 V.
Qual alternativa representa o valor correto do nível de tensão entre fases?
a) 0,05%.
b) 8,9%.
c) 8,18%.
d) 5,9%.
e) 5,26%.

Referências

ABNT. **ABNT NBR IEC 60034-7:2013**. Máquinas elétricas girantes, 25 set. 2013. Disponível em: < https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=304853>. Acesso em: 6 nov. 2017.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Tradução: Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 700 p.

FRANCHI, C. M. **Sistemas de acionamento elétrico**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2014. 152 p.

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência:** teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

Grupo WEG. **Guia prático de treinamento técnico comercial** - motor Elétrico. Jaraguá do Sul: Unidade de Motores, 2016. p. 9.

LITMAN, T.; MACCOY, G. A.; DOUGLASS, J. G. **Energy Efficient Electric Motor Selection Handbook**. Washington State Energy Office: 1990.

MELCONIAN, S. **Elementos de máquinas**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2012.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. 13. ed. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Série Tekne. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 372 p.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 666 p.

Métodos de partida para acionamentos de motores elétricos

Convite ao estudo

Após a experiência que obteve desenvolvendo as tarefas na empresa KLS Acionamentos, você está apto a continuar os estudos e proporcionar a melhor solução ao projeto que está trabalhando.

Nesta unidade, você irá adquirir conhecimento sobre os principais métodos convencionais de partida de motores, divididos em partidas diretas e indiretas, podendo colocar em prática e consolidar mais ainda essas competências.

Mais uma vez você será posicionado perante a empresa KLS Acionamentos para que solucione os problemas que aparecerão, tais demandas serão solicitadas ao passo que você progrida no estudo, conhecendo e sendo capaz de analisar os projetos das partidas e de comprovar seus funcionamentos. Não deixe de lado nenhum conhecimento e informação trabalhada na unidade anterior, pois serão de grande utilidade não só nesta unidade, mas em toda sua carreira.

Lembre-se do projeto que estão elaborando para o cliente, que está desenvolvendo uma máquina de envase para carvão. Na Unidade 1, foi mapeado o sistema de acionamento, o sistema de transmissão de potência em que o motor será acoplado e foram também levantados dados sobre o motor a ser utilizado.

Nesta importante etapa, o gerente de projeto solicita a você que teste alguns métodos de partidas, e que ao final possa esclarecer ao cliente qual será o melhor método. Você será capaz de explicar os princípios de funcionamento das partidas diretas? Quais os cuidados básicos que deverão ser previstos em projetos para as partidas indiretas? O acionamento com chave eletrônica seria o mais indicado nessa aplicação?

Ao término desta unidade, você será capaz de responder a esses questionamentos.

Vamos, a partir de agora, explorar essas competências.

Seção 2.1

Princípio de funcionamento das partidas de acionamentos

Diálogo aberto

Compreender o funcionamento dos métodos de partidas é tão importante quanto implementá-los em prática. A partir da próxima seção você poderá consolidar todos esses conhecimentos em laboratório, mas antes, é importante que saiba identificar os tipos de partidas e conheça seus funcionamentos.

Junto à equipe KLS Acionamentos, que está desenvolvendo o projeto para uma máquina de envase de carvão, você deverá estudar, nesta nova etapa, o funcionamento das principais partidas convencionais e expor para a equipe suas descobertas, consolidando o conhecimento com o diagrama das partidas e algumas observações acerca de vantagens e desvantagens. Na primeira etapa, foi atribuída a você a tarefa de criar um diagrama representativo do sistema, pois a partir dele é que se irá desenvolver as demais etapas. Em seguida, foram fornecidos mais dados sobre o motor elétrico e definida a rotação de saída do sistema de transmissão mecânica, finalizando com um mapeamento das possíveis causas de depreciação e aquecimento do motor.

Ao longo do projeto foram apresentados os seguintes dados:

- Motor elétrico de indução trifásico, 1800 rpm, modelo TEFC, acoplado na máquina através de um sistema de transmissão de potência de dois estágios, 450 rpm e 62,5 rpm.

Esses dados ainda são insuficientes para projetar o acionamento ideal, contudo, a outra equipe da empresa, responsável por pesquisar mais detalhes da aplicação, encontrou a placa de identificação do motor elétrico a ser utilizado na máquina de envase de carvão.

Você poderá ter acesso a todos os projetos utilizados no livro, disponível em: http://guimaraesconsultoria.com.br/acionamentos-de-motores-eletricos.

Vamos iniciar os estudos e, de forma gradativa, você irá construir seu portfólio técnico com as experiências e conhecimentos desta disciplina.

Não pode faltar

Partidas diretas e indiretas no acionamento de motores elétricos

O acionamento por partida direta é o mais simples de ser desenvolvido, pois os dispositivos de proteção e de comando atuam para que as fases de alimentação da rede cheguem diretamente ao motor.

Devido a tal simplicidade, existem algumas observações, como:

- Deve ser feito somente o acionamento direto de motores elétricos com potência abaixo de 10 cv em instalações industriais, devido ao alto pico de corrente de partida;
- Deve ser feito o acoplamento com sistemas de transmissão de potências para evitar danos aos motores, pois caso a carga fosse acoplada diretamente ao eixo do motor, tanto em momentos de partidas ou de paradas, a temperatura dos enrolamentos seria muito alta;
- O acionamento causa queda de tensão no sistema de alimentação e poderá interferir no funcionamento de outros equipamentos instalados na mesma rede elétrica, portanto, é preciso fazer essa verificação para evitar problemas;
- Devem ser evitados projetos subdimensionados, pois devido à corrente de partida ser muito elevada, isso pode acarretar em mal funcionamento do sistema.

Já os acionamentos com partidas indiretas são classificados como aqueles que, por aplicação, reduzem as altas correntes de partidas através de métodos para redução de tensão aplicada nos enrolamentos do motor. Veja abaixo alguns exemplos:

- Partida estrela-triângulo: é realizada modificando o fechamento do motor, ou seja, conexão dos enrolamentos de tal forma que a corrente possa ser reduzida no momento de partida e em um segundo momento atingir a velocidade plena;
- Partida compensadora: é realizada com a inserção de um autotransformador, fazendo o acionamento do motor através de uma tensão proporcional ao enrolamento utilizado;
- Soft-starters: é realizada através de chaves eletrônicas de partida, que serão objeto de estudo da próxima seção;

- Inversores de frequência: é feita por meio deste tipo de controlador, usado para o controle de velocidade dos motores elétricos. Mais detalhes serão abordados na Unidade 4.

Reflita

Em geral, os motores são selecionados a partir de algumas observações e análises feitas sobre a aplicação, classificação desses motores, se serão CA ou CC, potência, tensão de alimentação, tensão nominal de operação etc.

Sobre a tensão nominal de operação, ou as faixas de tensões em que o motor poderá funcionar, ele viabiliza melhores formas de acionamento, pois para um motor elétrico cuja placa de identificação informa apenas uma tensão de operação, não poderá, por exemplo, ser acionado em partidas de redução de tensão, como estrela-triângulo, compensadora, aceleração rotórica ou chaves eletrônicas estáticas.

Através da placa de identificação, é possível, além de saber as diferentes tensões de acionamento, identificar também os terminais dos enrolamentos, importantes para o correto fechamento das pontas ao tipo de partida.

Porém, e quando não há placa de identificação? Como deve ser feito?

Um dos procedimentos utilizados é a realização de alguns testes para mapear os terminais, como os testes de continuidade e de indução, a exemplo de motores elétricos de indução.

Com os testes de continuidade, ou de baixa resistência, é possível identificar os enrolamentos, e com os testes de indução, energizando pares de bobinas, identificamos a polaridade do enrolamento.

Pesquise mais

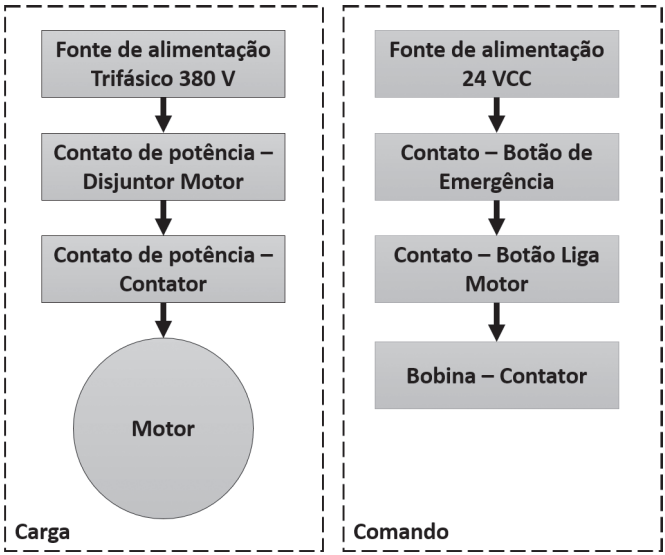
Para visualizar este procedimento na prática, compartilhamos dois vídeos, um para identificação em motores trifásicos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Vq6LtrCDOmA>, e outro para motores monofásicos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=F6NMPLfQtAE>. Acessos em: 10 nov. 2017.

Princípios de funcionamento das partidas direta e estrela-triângulo

A partida direta possui algumas formas de acionamentos com ou sem o circuito de comando, por exemplo, acionamento apenas com o disjuntor motor, porém, usaremos como objeto de estudo a partida direta com circuito de proteção e comando. Através da Figura 2.1 é

possível analisar o fluxo de funcionamento da partida direta, mesmo não tendo conhecimento dos componentes de projeto.

Figura 2.1 | Diagrama de blocos da partida direta simples para motores de indução trifásica



Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 2.1, temos que:

- No bloco de "Comando", temos uma fonte de alimentação de 24 VCC, que alimenta todo o circuito ligado na mesma, atendendo aos requisitos da norma NR-12. O sinal da fonte está passando pelo bloco "Contato – Botão de Emergência", que deverá dar permissão e continuidade ao sinal, em seguida pelo bloco "Contato – Botão Liga Motor" que, quando pressionado, por estar ligado ao bloco "Bobina – Contator", fará com que com ocorra a comutação dos contatos no contator devido à energização de sua bobina;
- Na parte de "Carga", é possível identificar que as fases R, S, T estão ligadas ao bloco "Contato de potência – Disjuntor Motor", cuja saída está ligada ao bloco "Contato de potência – Contator" que se conecta ao bloco representativo do motor elétrico juntamente com o cabo terra, fazendo o aterramento da carga de tal forma que, quando o bloco "Contato – Botão Liga Motor" é pressionado, permitindo a energização do bloco "Bobina – Contator", a comutação ocorrerá tanto nos contatos

de comando como nos contatos de carga, o que resulta na alimentação do motor, isso se o mesmo estiver com o fechamento dos enrolamentos corretos, conforme a placa de identificação, e o disjuntor permitindo a passagem da corrente elétrica da rede ao restante do circuito.

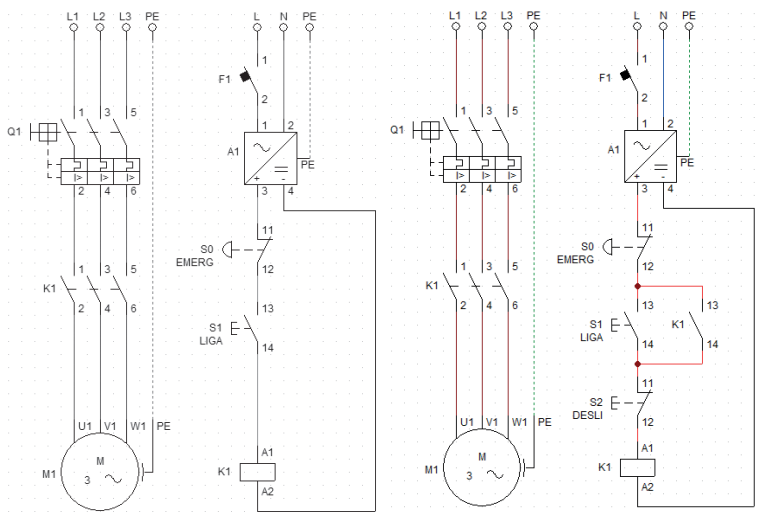
Pesquise mais

Nos exemplos citados neste livro, serão usados transformadores abaixadores de tensão ou fontes retificadoras para energizar os dispositivos de comando e sinalização, pois na Norma Regulamentadora NR12 é exigido que, conforme o artigo 12.36, os componentes de comando e sinalização que compõem a interface de operação da máquina devem operar em extrabaixa tensão, sendo de até 25 V em corrente alternada (CA) ou de até 60 V em corrente contínua (CC).

Ao passo que a disciplina for avançando e mais informações forem adquiridas, algumas outras exigências da NR12 serão citadas. Não só da NR12, mas também da NR10, disponíveis na nossa biblioteca virtual: <https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>. Acesso em: 30 nov. 2017.

A Figura 2.2 ilustra o diagrama de blocos da Figura 2.1 com as simbologias elétricas correspondentes e o acionamento com botão de liga e desliga.

Figura 2.2 | (a) Diagrama elétrico da partida direta com liga (b) Diagrama elétrico da partida direta com liga e desliga



Fonte: elaborada pelo autor.

Para que seja possível a bobina se manter energizada após o acionamento do botão pulsante, é necessário fazer a ligação de um contato da própria bobina paralelo ao contato do botão que o energiza, assim como foi feito na Figura 2.2 (b), no qual o contato NA (13-14) do contator foi conectado em paralelo com o contato NA (3-4) do botão S1, "Liga Motor". Esse tipo de ligação recebe o nome de "contato de selo". E com o acionamento do contato NF do botão S2, "Desliga Motor", o sinal positivo que chega na bobina é interrompido, fazendo com que o motor não seja energizado devido à comutação dos contatos do contator.

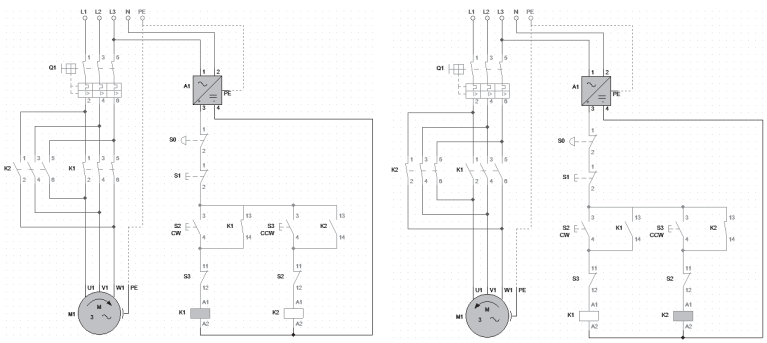
Assimile

Como foi estudado na Unidade 1, quando se deseja inverter a rotação de um motor elétrico, é necessário a inversão de duas fases.

Pegando como exemplo o projeto da Figura 2.2 (b), com botão de liga e desliga, podemos considerar implementar um terceiro botão, que irá fazer a inversão na rotação do motor.

A Figura 2.3 ilustra o novo diagrama elétrico para essa partida.

Figura 2.3 | Diagrama elétrico de partida direta com reversão no sentido horário (a) e no sentido anti-horário (b)



Fonte: elaborada pelo autor.

A partida estrela-triângulo, ou partida por tensão reduzida, consiste no acionamento do motor em duas etapas. O primeiro acionamento é feito com a ligação elétrica dos dispositivos de comando no formato estrela, o que utiliza cerca de 60% da tensão nominal. Após um certo tempo da partida, essa ligação elétrica assume o formato de triângulo,

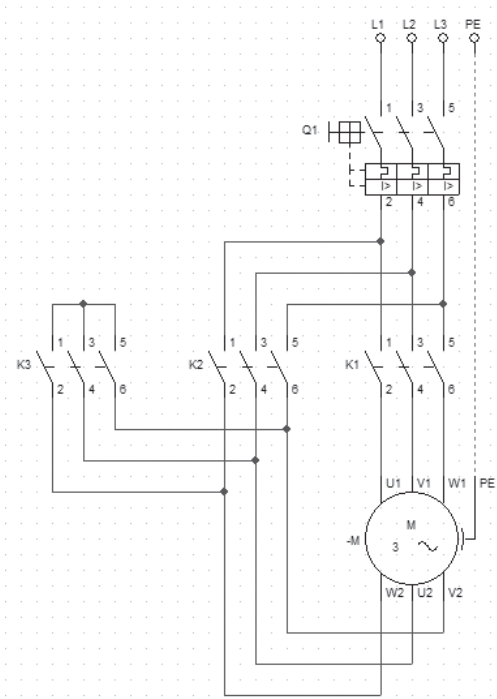
com tensão nominal em 100%. Reduzindo a tensão nominal, é reduzida também a corrente de partida.

Importante observar:

- O motor deve possuir a possibilidade de dupla tensão apresentada na placa de identificação para que o acionamento possa ser feito em estrela-triângulo;
- O valor de tensão de alimentação deverá ser o mesmo para o motor ligado em triângulo;
- Se o motor não atingir pelo menos 90% de sua rotação nominal no momento de comutação de ligação estrela para ligação triângulo, a corrente de partida será tão alta quanto na partida direta.

A Figura 2.4 ilustra o circuito de carga da partida estrela-triângulo.

Figura 2.4 | Diagrama elétrico da carga na partida estrela-triângulo



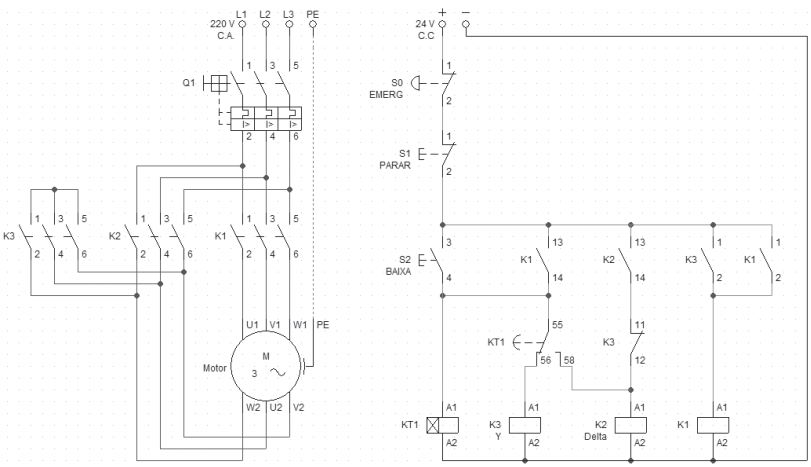
Fonte: elaborada pelo autor.

Observando a Figura 2.4, pode-se constatar que os contatores "K2 – Estrela" e "K3 – Triângulo" não poderão, em nenhum momento, ser

acionados juntos, pois ambos fazem o fechamento do motor, e no caso do "K3 – Triângulo" há uma ligação comum, em curto, entre as três pontas do motor. Para que isso não ocorra, utilizamos de um conceito chamado "intertravamento", no qual um contato de "K2 – Estrela" será utilizado na linha de comando que energiza o "K3 – Triângulo", que por sua vez também terá um contato na linha de comando que energiza o "K2 – Estrela". Dessa forma, é anulada a possibilidade dos dois serem energizados ao mesmo tempo.

A Figura 2.5 exemplifica o circuito elétrico de comando para a partida estrela-triângulo utilizando de um relé de tempo, em que podemos escolher o tempo do próximo acionamento. No caso desta figura, o acionamento foi feito com K1 e K3, deixando a partida em estrela. Após o tempo do temporizador, haverá comutação de seu contato, fazendo a desenergização da bobina de K3 e a bobina de K2 será energizada, configurando a ligação em triângulo.

Figura 2.5 | Diagrama elétrico do comando na partida estrela-triângulo com relé de tempo



Fonte: elaborada pelo autor.

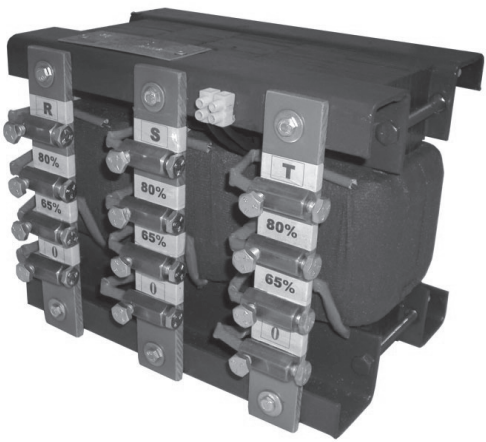
Princípios de funcionamento das partidas compensadoras

Partidas compensadoras também são classificadas como partidas por tensão reduzida, pois utilizam de autotransformador, também conhecidos como transformadores de partida - exemplo na Figura 2.6 -, sendo que cada "tap", enrolamento, possui uma quantidade de espiras que representam certa porcentagem da tensão da rede, que será entregue ao motor no momento de partida, de forma que a

partida compensadora apresenta baixa corrente de partida, mesmo na mudança dos "taps".

Existem diversas aplicações com autotransformadores instalados nos painéis de acionamento, porém estão aos poucos sendo substituídos por chaves de partida eletrônica ou inversores de frequência, por apresentarem mais eficiência e mais controle para corrente de partida. E com relação ao custo de investimento, principalmente para motores maiores, a diferença fica cada vez menor comparando-se com as chaves de partida eletrônica e inversores de frequência.

Figura 2.6 | Transformador de partida, autotransformador, 65% e 80%



Fonte: <http://www.transformadoreslider.com.br/descricao/transformador-de-partida-para-motores/55>. Acesso em: 23 out. 2017.

Em geral, os autotransformadores possuem de duas a três faixas de porcentagem de acionamento, 50%, 65% e 80%. São instalados juntamente com o tipo de partida, sendo utilizados somente no momento de partida, por exemplo, com cargas altas são ligados os "taps" de 80%, enquanto com baixas cargas os "taps" de 50% são ideais. Normalmente, é utilizada somente uma faixa do "tap", e quando o motor atinge 90% de sua velocidade nominal, a partida comuta para a tensão da rede, alimentando diretamente o motor, como se fosse 50-100%, 65-100% ou 80-100%. São encontrados em aplicações para acionamento de motores de até 200 cv.

Exemplificando

Em uma certa empresa de construção, toda vez que ligavam uma determinada máquina que fazia a mistura de cimento, tinham de desligar qualquer outro equipamento ou máquina da rede de alimentação, pois caso estivesse ligado, o disjuntor geral do galpão desarmava.

Cansado dessa situação, o gerente solicitou a visita de um técnico.

Chegando ao local, o técnico iniciou o estudo para verificar a situação em que se encontrava a rede elétrica da empresa, e como eram acionados os motores das máquinas.

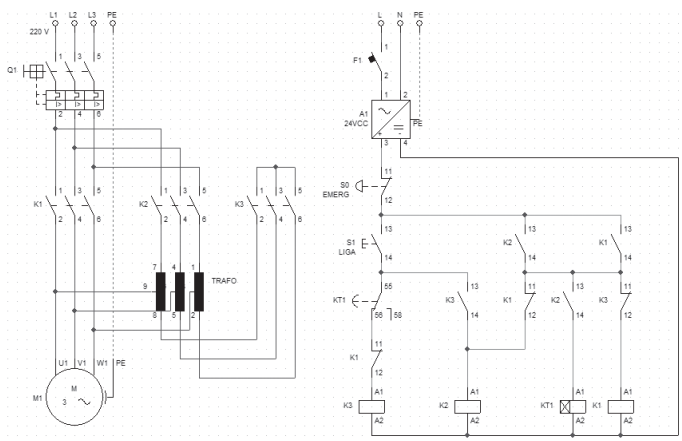
Como resultado, a rede estava muito desbalanceada e todas as máquinas, de pequena ou grande potência, eram acionados por partidas diretas.

Após um logo trabalhado de replanejar a distribuição de carga, chegou o momento de analisar o acionamento dos motores.

Os que eram de baixa potência continuaram a ser acionados por partida direta, as máquinas que não possuíam cargas no momento de partida e tinham uma potência maior foram ligadas em partida estrela-triângulo. Já a máquina de mistura partia com alta carga, e seu motor é de 30 cv, 8 polos, 220 V. O interessante é que essa máquina possuía um quadro elétrico e, apesar de ter um autotransformador já instalado, não foi conectado corretamente.

Fazendo os cálculos para verificar se os contatores e relés de sobrecarga estavam corretos, o técnico contratado elaborou o projeto e modificou o painel de acionamento, cujo diagrama elétrico é mostrado na Figura 2.7.

Figura 2.7 | Diagrama elétrico da partida compensadora



Fonte: elaborada pelo autor.

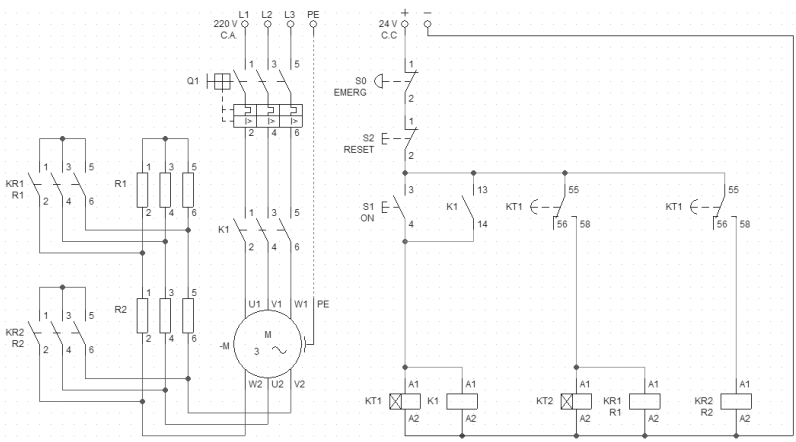
Após o projeto e a instalação correta do acionamento, o motor de 30 cv é acionado com o autotransformador em 80%, apresentando corrente de partida menor que na partida direta, sem afetar o funcionamento dos demais equipamentos ligados na mesma rede.

Princípios de funcionamento das partidas com aceleração rotórica e sistema de frenagem

A aceleração rotórica se dá quando são inseridas resistências em cada linha de carga, cujos terminais do motor estão conectados de tal forma que os conjuntos de resistências variam, permitindo o controle da corrente de partida e, consequentemente, a velocidade nominal do motor.

Observe a Figura 2.8, em que é apresentado o diagrama elétrico da carga de uma partida com aceleração rotórica, ou comumente identificada também como partida com resistência no primário.

Figura 2.8 | Diagrama elétrico da carga na partida por aceleração rotórica de dois estágios



Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 2.8, pode-se constatar que as resistências são desacopladas sucessivamente através da comutação dos contatos dos contatores que as energizam, até curto-circuitar as resistências, deixando os enrolamentos do motor diretamente ligados na rede, ou seja, fazer com que o motor opere em regime normal de trabalho.

Quando se deseja parar um motor elétrico, de forma muito simples, basta não energizá-lo e deixar que a própria carga acoplada faça

a parada de rotação. Porém, em muitas aplicações, são necessárias paradas rápidas, o que exige alguns sistemas de frenagem, como:

- Torque frenante – faz com que o motor pare ao dar reversão momentânea, mesmo estando em movimento. Essa técnica faz o motor esquentar muito, por recomendações é aconselhável não passar de cinco frenagens por minuto e os dispositivos de partida devem ser capazes de suportar os efeitos da frenagem;
- Frenagem dinâmica – conecta o motor, depois de desenergizado, em uma caixa com resistências para dissipar em calor a energia eletromecânica gerada pelo motor, desta forma, analogicamente, está funcionando como um gerador até parar;
- Frenagem por injeção CC – é um método em que a frenagem ocorre quando é aplicada uma corrente elétrica contínua nos enrolamentos do motor CA, logicamente após ser desenergizado, fazendo com que o campo magnético criado pela corrente contínua pare o motor devido ao alinhamento (N-S) do rotor e estator;
- Freios de atrito eletromecânico – neste sistema o eixo do motor permanece estacionário, mesmo após a parada, pois há um conjunto mecânico composto por um tambor fixado no eixo e com sapatas usadas para frenagem, sendo acionadas por uma mola. Este tipo de frenagem é muito útil e seguro, pois a solenoide que controla o acionamento da mola está conectada em série com a armadura do motor, dessa forma, na falta de energia, o motor é automaticamente frenado e o eixo não ficará livre.

Sem medo de errar

No projeto do cliente da empresa KLS Acionamentos, já foram realizados grandes avanços e agora é o momento de verificar a melhor forma de acionamento do motor na aplicação.

Considere que a placa de identificação do motor, encontrada pela equipe de pesquisa, possui os seguintes dados importantes neste momento:

- ~3 - 90L: motor elétrico de indução trifásica com carcaça 90L;
- 60 Hz: frequência de trabalho;

- 7,5 cv: potência mecânica do motor;
- 1800 rpm: rotação nominal;
- $\frac{I_P}{I_N} = 7{,}9$: número de vezes que a corrente de partida é maior que a nominal;
- 220 V / 380 V: tensões nominais do motor;
- 21 A / 12 A: corrente nominal do motor;
- 85,5%: rendimento;
- $\cos\varphi = 0{,}89$: fator de potência.

O sistema de envase pode iniciar com ou sem carvão, ou seja, com ou sem carga.

A partida direta, apesar de muito simples, eleva a corrente de partida o que poderá causar danos na rede elétrica em que o motor for alimentado.

A partida estrela-triângulo, caso seja utilizada, deverá ser projetada para uma potência maior, pois conforme foi abordado, é utilizada para sistemas que iniciam com baixa carga, do contrário o motor poderá aquecer e se danificar.

A partida compensadora é interessante para essa aplicação, uma vez que podemos escolher uma baixa tensão de partida e, após um pequeno tempo, colocar o motor em plena tensão.

A partida rotórica também é interessante, já que além de iniciar com baixa tensão, poderá ir subindo gradativamente conforme as resistências são desconectadas do circuito, ao invés de sair dos 50% e ir direto aos 100%, como na partida compensadora. Porém, com o uso de resistências, tem uma pequena potência sendo dissipada.

Em ambos acionamentos, temos de ser críticos e compreender que todos apresentam perdas consideráveis.

O fator de escolha ficará a cargo das análises: qual apresenta menos perdas e qual teria um custo-benefício melhor.

Para determinar as perdas e o custo-benefício, será necessário o estudo da Unidade 3, em que é abordado o dimensionamento de projetos de acionamentos.

Avançando na prática

Acionamento de múltiplos motores

Descrição da situação-problema

O acionamento de um único motor é simples, porém, sempre devemos observar algumas condições para que não se danifique o motor, a máquina e o sistema elétrico que o alimenta.

A fábrica têxtil "Tecidos em cor" possui um tanque no qual os tecidos são mergulhados para receberem o tingimento na cor desejada. Esse tanque é preparado pelo responsável da produção, porém ele percebeu que devido ao grande diâmetro do tanque, somente um motor no centro fazendo a mistura da tinta não é o suficiente. Então, ele solicitou um novo projeto com quatro pequenos motores, ao invés de apenas um de grande porte.

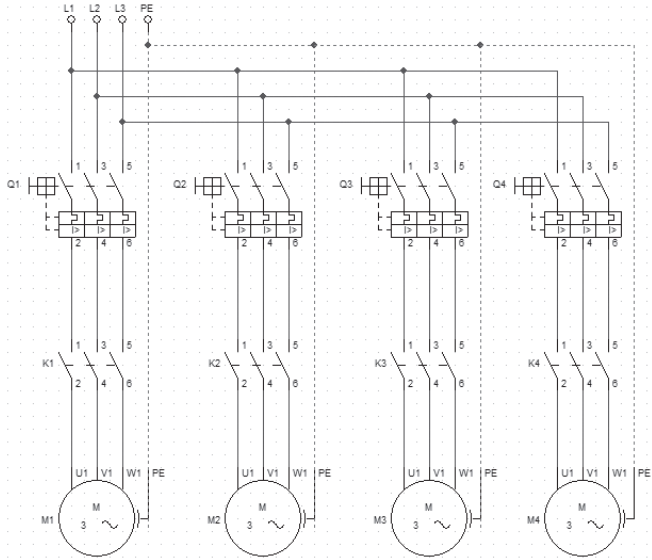
Resolução da situação-problema

O motor atual é de 15 cv, ligado em rede trifásica de 380 V, e fica instalado no centro do tanque, misturando a tinta antes de receber o tecido. Fazendo uma análise das cargas que os eixos dos novos motores deverão movimentar, serão necessários 4 motores de 3 cv, para alimentação em rede trifásica de 380 V.

Segundo o responsável pela produção, os motores poderão rotacionar somente em um sentido, não há necessidade de inversão.

Dessa forma, podemos utilizar partidas diretas simples. Na Figura 2.9 é ilustrado o diagrama de carga e, na Figura 2.10, o diagrama de comando.

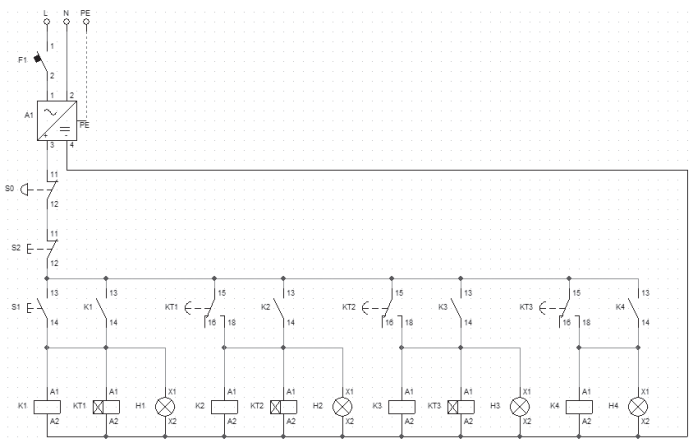
Figura 2.9 | Diagrama de carga para partida direta simples



Fonte: elaborada pelo autor.

No diagrama de carga, Figura 2.9, foram utilizados os disjuntores motores (Q1 a Q4) parametrizados com a corrente nominal dos motores, que é em torno de 6 A, pela placa de identificação. Os contatores também deverão suportar essa corrente nominal e, consequentemente, os cabos condutores.

Figura 2.10 | Diagrama de comando para partida direta simples com múltiplos acionamentos



Fonte: elaborada pelo autor.

Através de um único botão, os motores serão acionados, porém, gradativamente, através de relés temporizadores, para evitar um alto pico de corrente na rede, resultante do somatório das partidas de todos os motores, caso fossem acionados ao mesmo tempo.

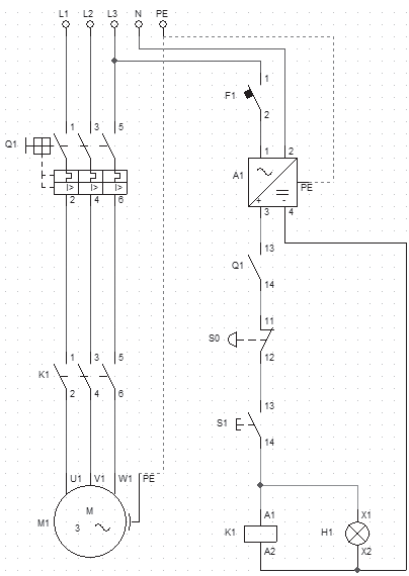
Foram adicionadas também algumas sinalizações para informar quais motores foram acionados e um botão para desligar os acionamentos.

Importante observar que a fonte de alimentação deverá ser suficiente para suprir a demanda de corrente das cargas alimentadas, como as bobinas e sinaleiros.

Agora você seria capaz de otimizar o projeto e deixá-lo mais automatizado? Refaça o projeto usando apenas um temporizador para entrar com o acionamento dos motores e quando o último motor for acionado, mantenha o sistema ligado durante 5 minutos e então desligue os acionamentos, retirando o botão S2.

Faça valer a pena

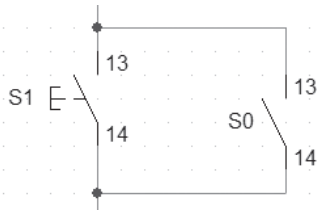
1. No projeto ilustrado abaixo, é desejado que o motor se mantenha em funcionamento mesmo após o botão S1, normalmente aberto, pulsante, deixar de ser pressionado. Para tanto, sabe-se que deverá projetar um contato paralelo ao botão, conhecido como contato de selo.



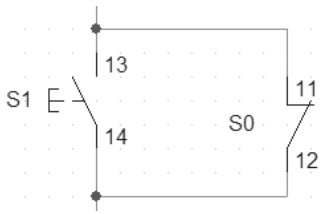
Fonte: elaborada pelo autor.

Marque a opção que melhor representa o tipo de contato a ser utilizado como selo.

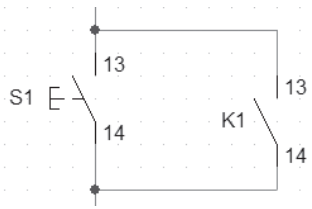
a)



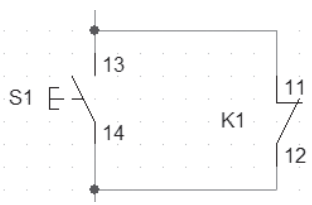
b)



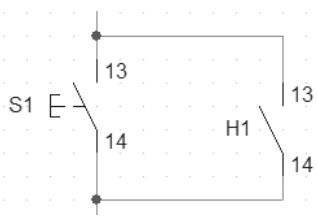
c)



d)



e)



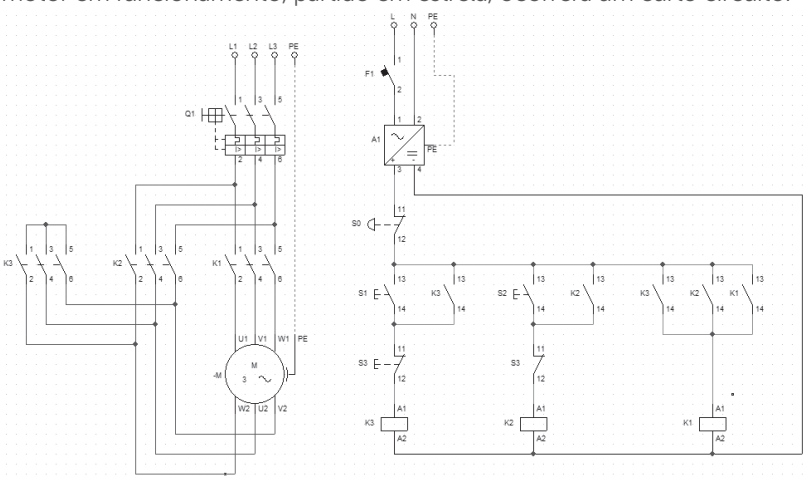
2. Ao ligar um motor de 20 cv acoplado em uma extrusora através de uma partida direta, o técnico percebeu que algumas lâmpadas diminuíram o brilho durante a partida, assim como alguns equipamentos desligaram. Para resolver esse problema, será necessário um acionamento indireto, com finalidade de reduzir a corrente de partida. Dentre os acionamentos indiretos, pode-se ressaltar:

I – Partida com transformador elevador de partida e partida estrela-triângulo.
II – Partida por chaves eletrônicas e conversores de frequência.
III – Partida com autotransformador e partida estrela-quadrado.
IV – Partida por chaves mecânicas e conversores de frequência.
V – Partida com autotransformador e partida estrela-triângulo.

Assinale a opção que contém os corretos métodos de partidas indiretas:

a) Somente I está correta.
b) Somente III está correta.
c) Afirmativas I e III estão corretas.
d) Afirmativas II e V estão corretas.
e) Somente IV está correta.

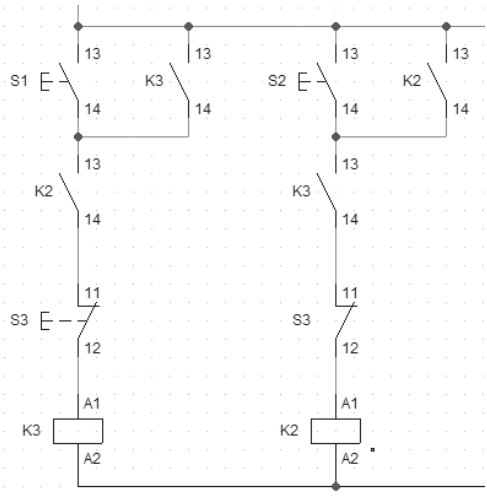
3. Antes de instalar o acionamento de um motor que irá atuar como um batedor de massa em uma máquina na padaria, o eletricista responsável está com dúvida sobre como fazer o intertravamento dos contatores que acionam o motor em estrela e depois em triângulo sem fechar curto-circuito. O projeto desenvolvido pelo eletricista está ilustrado na figura abaixo, no qual o acionamento é feito por dois botões: um liga em estrela, S1, e outro liga em triângulo, S2. Na falta de um temporizador responsável por evitar o curto na passagem da ligação estrela para triângulo, será utilizado um terceiro botão que corta o sinal para os contatores, deixando as bobinas desenergizadas, evitando o curto na passagem das ligações. Mesmo com o botão S3, caso o operador pressione o botão S2, liga triângulo, estando o motor em funcionamento, partido em estrela, ocorrerá um curto circuito.



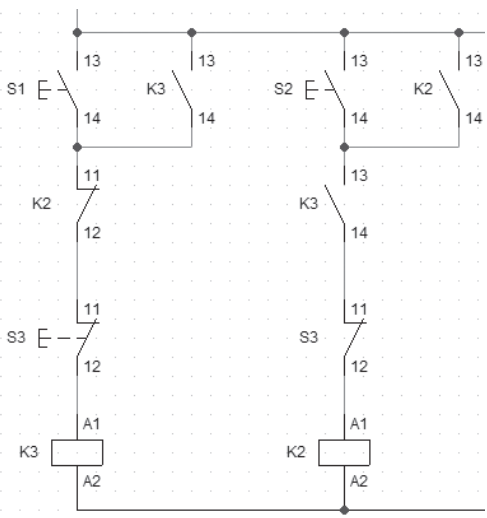
Fonte: elaborada pelo autor.

Indique ao eletricista a opção com o diagrama que tornará funcional o acionamento projetado e evitará o curto-circuito:

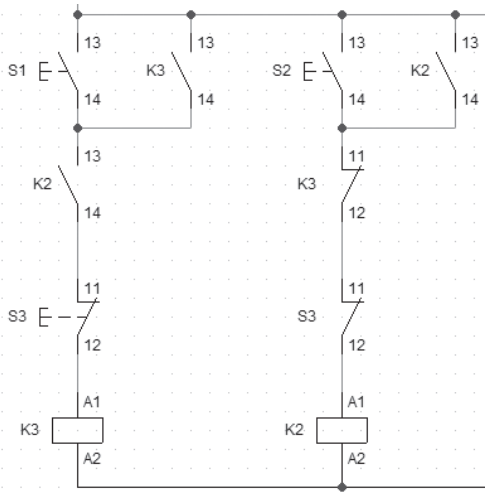
a)



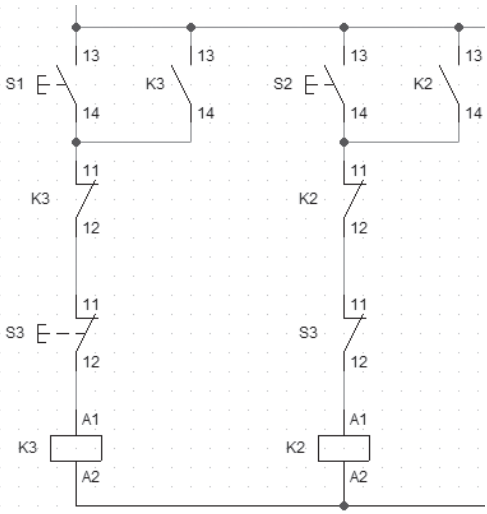
b)



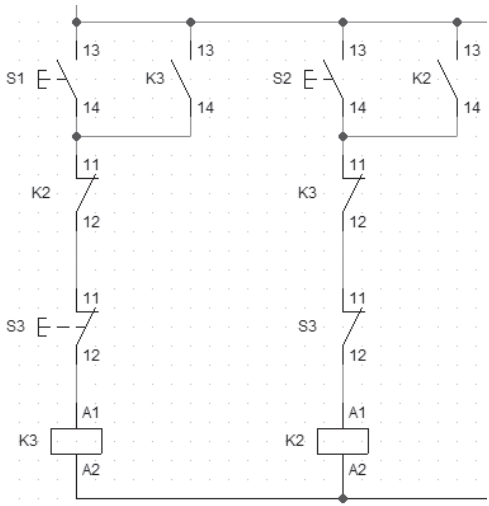
c)


13
13
13
13
S1
K3
S2
K2
14
14
14
14
13
11
K2
K3
14
12
11
11
S3
S3
12
12
A1
A1
K3
K2
A2
A2

d)


13
13
13
13
S1
K3
S2
K2
14
14
14
14
11
11
K3
K2
12
12
11
11
S3
S3
12
12
A1
A1
K3
K2
A2
A2

e)


13
13
13
13
S1
K3
S2
K2
14
14
14
14
11
11
K2
K3
12
12
11
11
S3
S3
12
12
A1
A1
K3
K2
A2
A2

Seção 2.2

Aplicação das partidas de acionamentos

Diálogo aberto

Cada vez mais você está avançando com o projeto da empresa KLS Acionamentos, dentre muitos resultados obtidos nas etapas até este momento, qual foi a etapa que você mais gostou de desenvolver?

O último resultado entregue ao cliente possuía uma observação que, para determinar o acionamento, seria necessário levantar os custos-benefícios e, para tanto, seria preciso iniciar o projeto e efetuar os cálculos. O cliente, bastante ansioso e contente com o progresso que você e a equipe estão apresentando, solicitou uma demonstração de acionamento da máquina que ele projetou com partida de aceleração rotórica, porém, com as seguintes premissas: o sistema de envase terá um silo que alimenta a rosca transportadora; estando ela vazia, a rosca deverá parar automaticamente e acionar um alarme luminoso, quando pressionado o botão de liga, o sistema voltará a funcionar.

Para essa nova demanda, você seria capaz de solucionar as premissas propostas pelo cliente? O que mais poderia ser implantado para oferecer melhor controle ao processo desse cliente? Com as ferramentas e novos conhecimentos apresentados nesta seção, seria possível a simulação do projeto?

Temos certeza de que com empenho e curiosidade você será capaz de solucionar não só esse projeto, mas terá capacidade e conhecimento para desenvolver muito mais.

Esta seção apresenta, em cada tópico, uma aplicação para os tipos de partidas estudadas na seção passada. Começamos com a partida direta, aplicada em um sistema de bombeamento de água, seguido pelo sistema estrela-triângulo acionando uma máquina laminadora em uma carpintaria. No terceiro tema, é explorada a aplicação da partida compensadora em ventiladores industriais de forma simples e exemplificado com um controlador de temperatura. Para finalizar, você irá conhecer o motor de múltipla velocidade, chamado de Dahlander.

Ainda nesta seção, você poderá, em laboratório, comprovar o funcionamento desses acionamentos elétricos.

Bons estudos!

Não pode faltar

Partidas diretas para acionamento de motores elétricos

A partida direta é relativamente simples, resumidamente, são componentes instalados em sequência que permitem a lógica de energizar a bobina do contator, que irá comutar seus contatos, fazendo com que o motor seja energizado e posto em funcionamento.

Para exemplificar melhor, será apresentado um cenário que demandará sua competência em analisar as informações ou, nos termos de projetos, as premissas e restrições para elaborar a modelagem comportamental com recursos necessários e, então, o desenvolvimento do projeto final. Lembrando que, na próxima unidade, você irá estudar em detalhes os componentes do circuito de acionamento e dimensionar pela carga controlada.

Exemplo de aplicação da partida direta:

Uma pequena indústria de costura em sapatos possui uma cisterna, utilizando desta apenas água para faxina e para encher os filtros de água, pois o sistema de captação era muito manual e arcaico, utilizando das bombas de golpe de aríete, conhecidas também como carneiros hidráulicos. Com o aumento de produção, o número de funcionários também aumentou e, proporcionalmente, a conta de água. Com intuito de economizar, o gerente da pequena indústria contratou uma empresa prestadora de serviços para desenvolver um projeto sustentável para sua empresa. O projeto inicial consiste em automatizar o bombeamento da água vinda da cisterna para a caixa principal. A Figura 2.11 ilustra a aplicação em que iremos desenvolver o projeto de acionamentos.

Figura 2.11 | Aplicação de acionamentos para controle de bombas d'água

Fonte: <http://guimaraesconsultoria.com.br/partida-direta-bomba-centrifuga/>. Acesso em: 28 out. 2017.

Sintetizando a demanda nesta aplicação, temos:

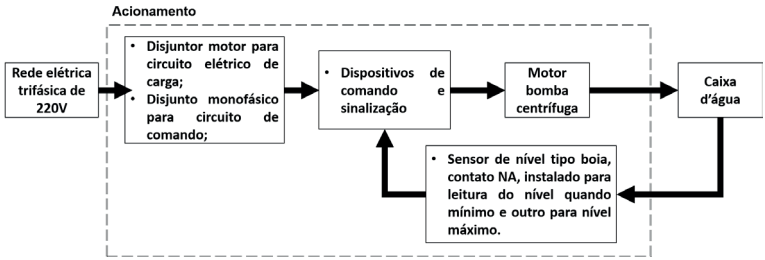
- Dispositivos de proteção:
  - Disjuntor motor para proteção da carga;
  - Minidisjuntor unipolar para proteção do circuito de comando;
  - Contatores de interface: rede elétrica – circuito de comando – motor elétrico.
- Dispositivos de comando e sinalização:
  - Botão de segurança tipo cogumelo com trava e bloco NF;
  - Botão pulsante com bloco NF para desativar o acionamento;
  - Botão pulsante com bloco NA para acionamento do sistema;
  - Sinaleiro na cor vermelha para alertar painel energizado e outro para alertar acionamento do botão de segurança;
  - Sinaleiro na cor verde para sinalizar motor bomba em funcionamento;
  - Sinaleiro na cor branca para sinalizar nível mínimo e outro para nível máximo;
  - Sensor tipo chave para nível máximo e nível mínimo;
  - Bobina do contator cuja tensão de alimentação seja compatível com a fonte do circuito de comando, neste caso poderia ser em 24 VCC (circuito de comando);
  - Fonte retificadora de 24 VCC para alimentação do circuito de comando.

O acionamento será modelado em malha fechada, pois o sinal de realimentação, responsável pelo feedback, ficará a cargo dos sensores tipo chave de nível para controlar o processo de encher ou não a caixa.

Assimile

Existem diversas ferramentas para desenvolver ideias, desenhar soluções e apresentar de forma macro algum conceito. Uma ferramenta que auxilia nesse processo de conectar ideias entender as dependências das premissas do projeto e verificar se a aplicação está ponderando as possibilidades, é o mapa conceitual ou mapa mental, utilizado anteriormente na Unidade 1. Aplicando essa ferramenta para o modelo de acionamento da bomba centrífuga, exemplo do tópico de partidas diretas, no qual é implantando uma malha fechada, tem-se como resultado o arranjo ilustrado na Figura 2.12.

Figura 2.12 | Malha fechada aplicada no acionamento da bomba centrífuga

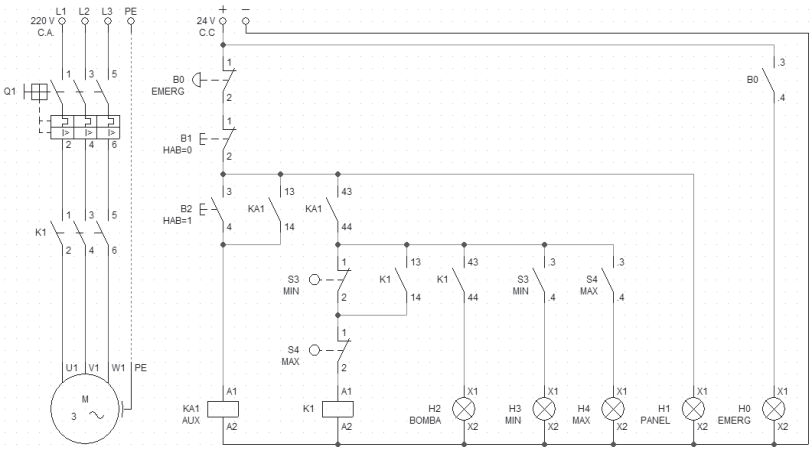


Fonte: elaborada pelo autor.

Perceba que, no bloco de dispositivos de proteção, foram levantados os componentes necessários, mesmo sem dimensionar ou especificar o modelo, porém, já se tem uma ideia de quais recursos poderiam suprir essa tarefa. O mesmo acontece nos demais blocos, dispositivos de comando e sinalização conforme o tipo de partida, o motor bomba sendo o atuador do processo e os sensores fazendo a realimentação da malha, ou seja, verificando se o processor chegou no valor de *setpoint*, máximo ou mínimo.

Para elaborar o acionamento, são feitas algumas análises em relação ao tipo de funcionamento da carga, e como os comandos serão dados. Dessa forma, pela Figura 2.11, verifica-se que o motor bomba, depois de acionado, mantém seu funcionamento até chegar ao nível desejado. Seu acionamento é simples e poderá ser feito com partida direta, pois é de baixa potência. O comando é feito através do botão "habilita acionamento", e caso o nível da caixa esteja abaixo do sensor de nível mínimo, o motor bomba é acionado e só para quando atingir o nível máximo. Caso, ao pressionar o botão de habilita, a caixa esteja com o nível máximo acionado, então nenhuma ação será feita. Resumindo, o motor bomba só entra em funcionamento quando o nível é mínimo e para quando chegar no nível máximo. A qualquer momento em que o botão de emergência for acionado, o processo todo é desligado, e se o botão desabilita for pressionado, então somente o motor bomba é desligado. A Figura 2.13 exemplifica o acionamento elétrico dessa aplicação.

Figura 2.13 | Acionamento elétrico do controle de bombas d'água



Fonte: elaborada pelo autor.

Pesquise mais

Os circuitos elétricos dos acionamentos foram desenvolvidos no software CADSIMU, por ser uma ferramenta gratuita com várias opções para simulação e que constantemente é atualizado. No site do desenvolvedor está disponível a última versão nas linguagens espanhol e inglês, disponível em: <http://canalplc.blogspot.com.br/p/cadesimu.html>. Acesso em: 8 dez. 2017.

Neste outro site estão disponíveis diversos arquivos de projetos de acionamentos, artigos relacionados à disciplina e vídeos explicando o funcionamento das partidas elétricas, disponível em: <http://guimaraesconsultoria.com.br/acionamentos-de-motores-eletricos>. Acesso em: 8 dez. 2017.

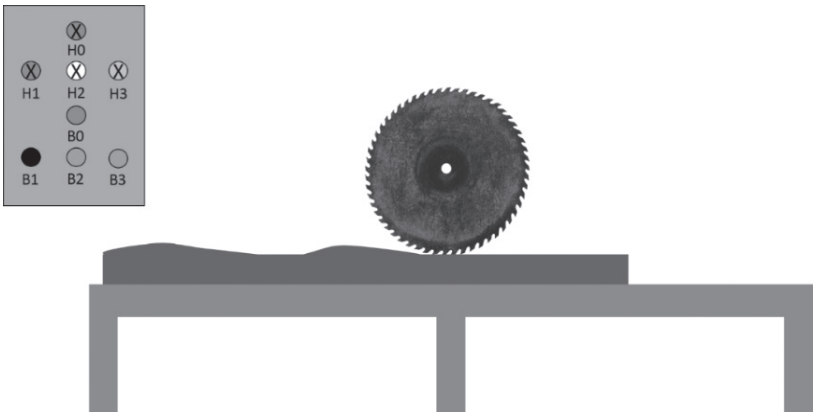
Partidas estrela-triângulo para acionamento de motores elétricos

Exemplo de aplicação da partida estrela-triângulo:

Foi desenvolvida, em uma carpintaria, uma máquina para laminar as chapas de madeira que chegam como matéria-prima para os móveis a serem projetados. Essa máquina possui um conjunto de botões, sendo: botão com trava, que permite a energização do circuito de comando da máquina; botão para acionamento de emergência; e botão para o acionamento do motor. Há uma diferença quando se usa botões pulsantes de botões com travas. Pulsante significa que, quando pressionado, terá comutação do bloco de contato enquanto

se mantiver pressionado, e com travas, uma vez pressionado, mantém a comutação dos contatos no bloco até ser pressionado novamente. A Figura 2.14 ilustra essa aplicação. Importante lembrar que será necessário utilizar sinaleiros luminosos para indicar o funcionamento de partes do processo ou como alarmes.

Figura 2.14 | Aplicação de acionamentos para laminadora em carpintaria



Fonte: Sinótico para aplicação de acionamentos com laminadora em carpintaria: <http://guimaraesconsultoria.com.br/partida-estrela-triangulo-laminadora-carpintaria/>. Acesso em: 28 out. 2017.

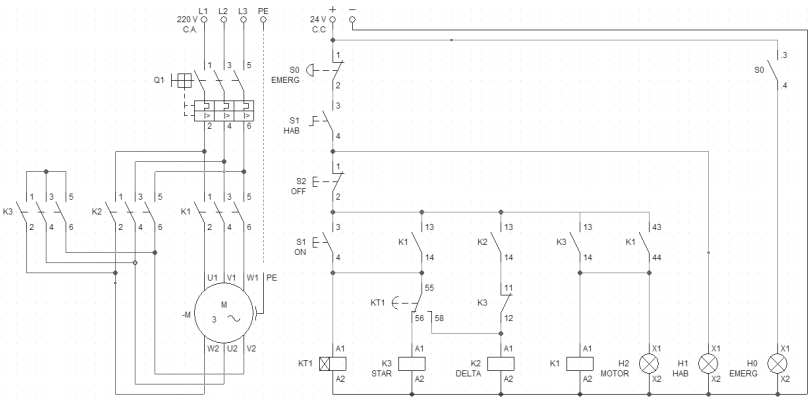
Sintetizando a demanda nesta aplicação, temos:

- Dispositivos de proteção: disjuntor motor para proteção da carga, minidisjuntor unipolar para proteção do circuito de comando;
- Dispositivos de comando e sinalização: botão de trava para acionamento de segurança, botão de trava para habilitar processo e desligar, botão pulsante para acionamento do motor, sinaleiro na cor vermelha para alarme de emergência, sinaleiro na cor vermelha para sinalizar painel energizado, sinaleiro na cor verde para sinalizar serra em funcionamento, sinaleiro na cor branca para indicar processo habilitado, contatores trifásicos (circuito de potência) com bobinas em 24 VCC (circuito de comando), fonte retificadora de 24 VCC para alimentação do circuito de comando.

O acionamento será modelado em malha aberta, pois haverá somente acionamento do motor, sem controle do processo, dessa forma, não há sinal de realimentação, ficando o controle a cargo do operador.

Para elaborar o acionamento, são feitas algumas análises em relação ao tipo de funcionamento da operação, e como os comandos serão feitos. O acionamento será feito em um motor com fechamento em estrela-triângulo, redução de tensão na partida e em seguida é comutado para plena carga. O comando é feito através do botão "habilita processo", que quando acionado mantém o processo energizado e quando não acionado o processo deixa de funcionar. Caso o botão que liga o acionamento do motor seja pressionado, o mesmo entrará em funcionamento na função estrela e, depois de um tempo, em triângulo; a qualquer momento em que o botão de emergência for acionado, o processo todo é desligado e para parar o motor, é necessário acionar o botão habilita para desligado. A Figura 2.15 exemplifica o acionamento elétrico dessa aplicação.

Figura 2.15 | Acionamento elétrico para laminadora em carpintaria



Fonte: elaborada pelo autor.

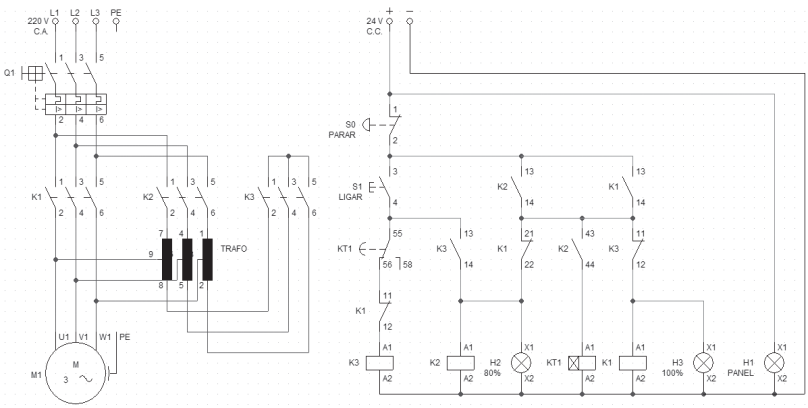
Partidas compensadoras para acionamento de motores elétricos

Exemplo de aplicação da partida compensadora:

Foram instalados em um novo grande galpão de armazenamento alguns ventiladores industriais. O acionamento utilizado, inicialmente, foi por partida direta, pois o motor é de 10 cv. Segundo o eletricista, até 10 cv poderia fazer o acionamento em partida direta, e de fato pode-se acionar motores com essa potência em partidas simples, porém, o pico de corrente para partida é muito alto e, devido ao peso da hélice, o motor esquentava muito, fazendo com que o disjuntor motor desarmasse toda vez, em menos de 5s depois de dada a partida nos motores. O eletricista, então, resolveu fazer o acionamento do motor com estrela-triângulo, pois assim a tensão de partida seria reduzida.

Ao retirar o motor do acoplamento do ventilador, o mesmo percebeu que era um motor com apenas uma opção de tensão nominal para instalação, ou seja, motor de três pontas para fechamento. Sendo assim, poderiam ser utilizados os acionamentos por partida compensadora, aceleração rotórica, e, pensando em eficiência energética, o uso da chave eletrônica ou inversor de frequência. Como o dono da empresa possui um plano de eficiência energética sendo desenvolvido, optou por não investir nos inversores antes do projeto final ser entregue, evitando a aquisição de um equipamento fora das especificações que o técnico estava desenvolvendo. No antigo galpão, havia algumas resistências de acionamento, cujos valores, porém, não eram suficientes para partida, além disso, havia também alguns autotransformadores usados em máquinas obsoletas substituídas nos projetos de *retrofitting*. O circuito utilizado para o acionamento com partida compensadora é ilustrado na Figura 2.16.

Figura 2.16 | Acionamento elétrico para ventiladores industriais



Fonte: elaborada pelo autor.

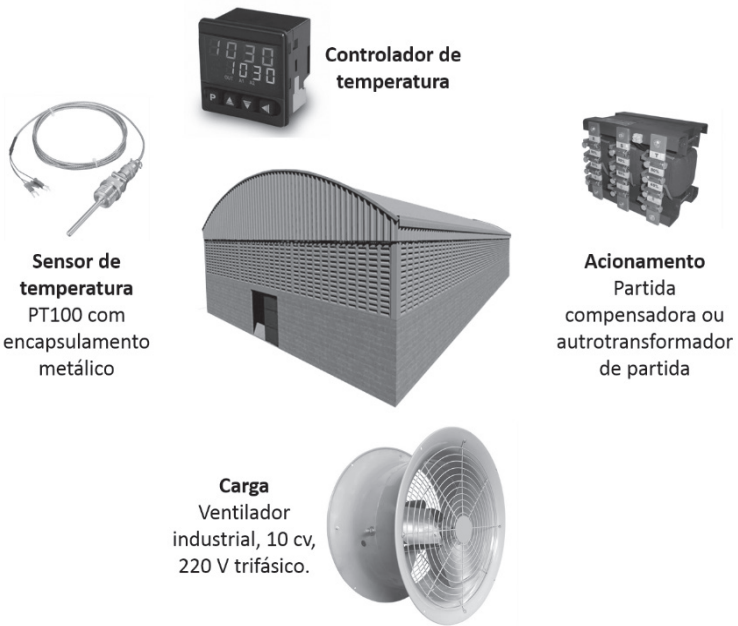
Exemplificando

Na mesma aplicação em que foi desenvolvido o acionamento de partida compensadora para o ventilador industrial, o técnico consultado para solucionar o problema junto com o eletricista da empresa sugeriu implantar um controle automático juntamente com o atual, de controle manual. O modelo atual é em malha aberta, a sugestão é que seja feito o controle em malha fechada, utilizando um sensor de temperatura e um controlador de temperatura para partir o motor quando a temperatura chegar no valor programado, chamado de *Set Point*, e desligar quando

estiver abaixo desse valor, de acordo com as especificações de temperatura dos produtos armazenados.

Dessa forma, a aplicação ficará como ilustrado na Figura 2.17.

Figura 2.17 | Aplicação de controle de temperatura no acionamento de ventiladores industriais



Fonte: <http://guimaraesconsultoria.com.br/partida-autotrafo-ventilador-industrial/>. Acesso em: 28 out. 2017.

A saída do controlador fará o acionamento da bobina do contator quando atingir a temperatura programada, e quando estiver abaixo da mesma, o controlador deixará de acionar a bobina do contator.

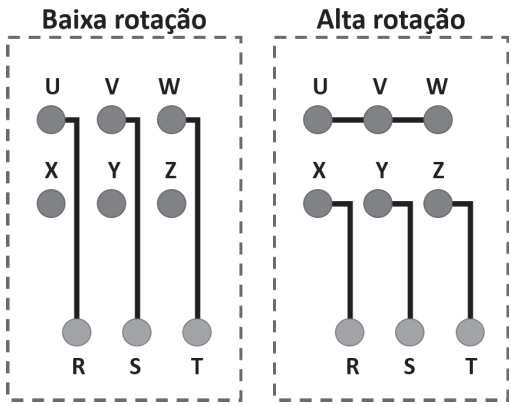
Outras formas de acionamentos

Na classe de motores de indução trifásicos, temos os chamados motores Dahlander, que são motores de duas velocidades, ou seja, os seis enrolamentos do motor podem ser ligados de forma que apresente baixa ou alta rotação. Assim como o acionamento estrela-triângulo, compensadora e outros, esse motor também é categorizado como partida por redução de tensão. Outros pontos relevantes são:

- O número de rotações em baixa velocidade possui metade do número de rotações em alta (por exemplo, 1750-3500 rpm);
- Não pode ser ligado em diferentes tensões, grande parte possui somente uma tensão de alimentação e a mesma para fechamentos dos terminais do motor.

Seu acionamento se dá conforme o fechamento e alimentação indicados na placa de identificação, conforme mostra a Figura 2.18.

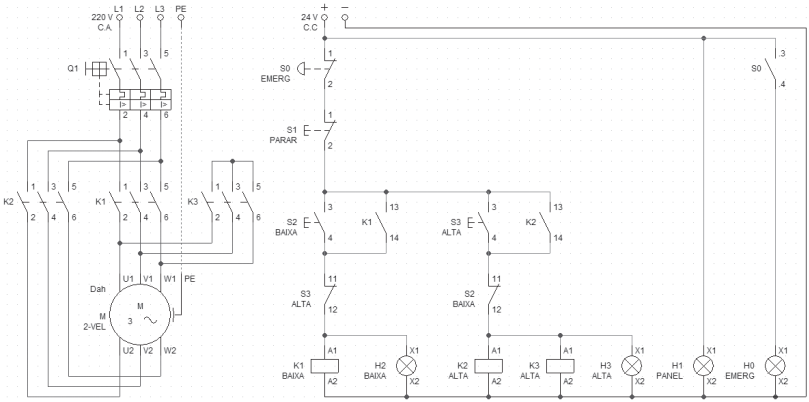
Figura 2.18 | Identificação dos terminais motor Dahlander



Fonte: elaborada pelo autor.

Conforme é ilustrado na Figura 2.18, os fechamentos dos terminais são simples e, no circuito de carga, teremos um contator para cada grupo, sendo, para baixa, apenas um contator alimentando U-V-W e, quando por meio do circuito de comando comutar de baixa para alta rotação, tem-se dois contatores, um alimentando U-V-W e outro X-Y-W. A Figura 2.19 representa esse acionamento.

Figura 2.19 | Acionamento elétrico motor Dahlander



Fonte: elaborada pelo autor.

Reflita

Foram vistas algumas aplicações com os acionamentos elétricos para motores. E se fosse necessário acionar uma válvula que controla um cilindro pneumático, ou mesmo acionar um sistema de aquecimento, como deveria ser feito? Poderia se utilizar dos mesmos princípios e cálculos para dimensionamento?

Sem medo de errar

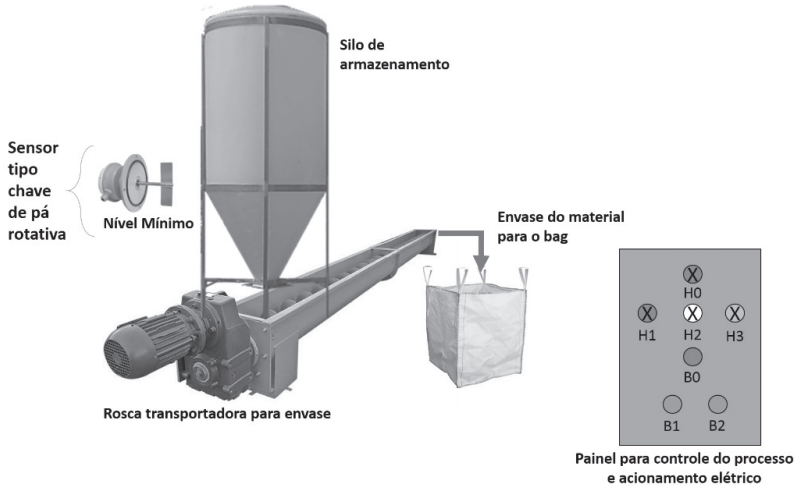
Com os conhecimentos adquiridos nesta seção e seu estudo sobre cada fundamento apresentado, chegou o momento de você solucionar a demanda que o cliente da máquina de envase de carvão solicitou para KLS Acionamentos. O cliente requer uma demonstração de acionamento da máquina que ele projetou com partida de aceleração rotórica aplicado, agora, em um sistema mais completo, tendo:

- Um silo que alimenta a rosca transportadora – estando o silo vazio a rosca deverá parar automaticamente e acionar um alarme luminoso; quando o operador pressionar o botão de liga, a rosca transportadora voltará a funcionar.
- Rosca transportadora com motor trifásico com opções de fechamento em 220 V ou 380 V, 7,5 cv e 1800 rpm.

Outra solicitação é que você, como técnico deste projeto, possa implementar melhorias no controle do processo e apresentar uma simulação do projeto.

O desenho da Figura 2.20 ilustra a aplicação até este momento.

Figura 2.20 | Aplicação do processo de envase com silo



Fonte: <http://guimaraesconsultoria.com.br/partida-rotorica-para-processo-de-envase/>. Acesso em: 28 out. 2017.

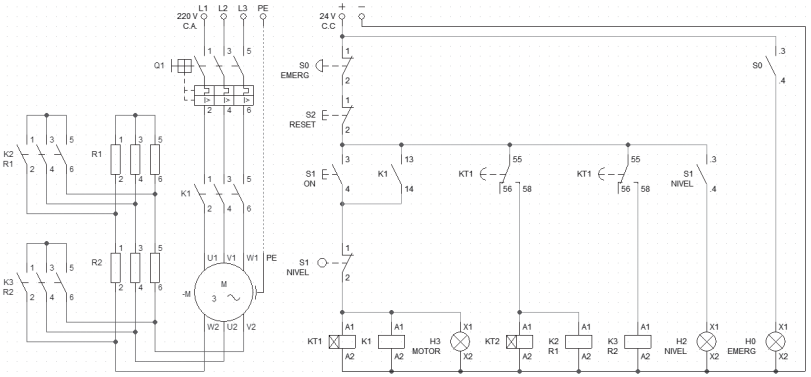
Como o carvão é um material sólido, dificilmente um sensor tipo chave fim de curso ou ótico faria a leitura corretamente, para tanto, existem diversos modelos de sensores para leitura de material sólido leve ou pesado, dentre estes há o tipo chave pá rotativa. Esse tipo de sensor nada mais é que um circuito eletrônico interno acionando um motor de baixa rotação, quando há contato com o material, resulta em mais torque para que o motor consiga rotacionar, porém, seu circuito faz com que ele pare de rotacionar e emite um sinal através de um relé. Quando não há mais material na pá, ou seja, baixa carga, o motor volta a ser acionado e o relé deixa de emitir o sinal.

Resumindo, teremos um contato normalmente aberto, representando o sensor tipo chave de pá rotativa, que na presença de material irá comutar para contato fechado.

Além desses sensores, o projeto terá o acionamento do motor com partida de aceleração rotórico, usando conjuntos de resistências, botão de segurança, reset e liga, além das sinalizações.

A Figura 2.21 ilustra o circuito de acionamento elétrico final.

Figura 2.21 | Acionamento elétrico para processo de envase com silo



Fonte: elaborada pelo autor.

Interpretando o acionamento da Figura 2.21, tem-se o contator K1, que aciona o motor juntamente com os grupos de resistências que fazem a redução de tensão na partida, passado o tempo parametrizado no temporizador KT1, o contator K2 é acionado, retirando o grupo de R1, fazendo com que o motor ganhe velocidade, e após o tempo de KT2, o contator K3 é acionado, retirando o grupo de R2 e deixando o motor em plena rotação. O acionamento é feito pelo botão "B2 – Liga", e se o sensor S1 de nível mínimo for acionado, seus contatos irão comutar, ligando o sinaleiro de alarme de nível e desenergizando o contator K1, resultando na parada do motor. Com o acionamento do botão "B2 – Liga", o motor é acionado novamente pela partida de aceleração rotórica.

Avançando na prática

Exaustão de ar inteligente

Descrição da situação-problema

A indústria DoceDoce LTDA fabrica doce de leite e, em um de seus processos, o leite é fervido para fazer a redução, há um misturador acionado constantemente que impede de queimar o produto caso fique agarrado nas laterais e no fundo do recipiente. De tempo em tempo no processo, o responsável pela qualidade tem de pegar uma amostra do produto, porém, quando a tampa é retirada, o vapor que sai do recipiente pode queimar a pele. Portanto, tiveram a ideia de instalar um exaustor inteligente sobre o recipiente. Enquanto a tampa estiver fechando o recipiente, o exaustor poderá ficar com baixa rotação, caso

a tampa seja retirada o exaustor deverá aumentar sua rotação. Para tanto, você deverá propor o acionamento desse projeto.

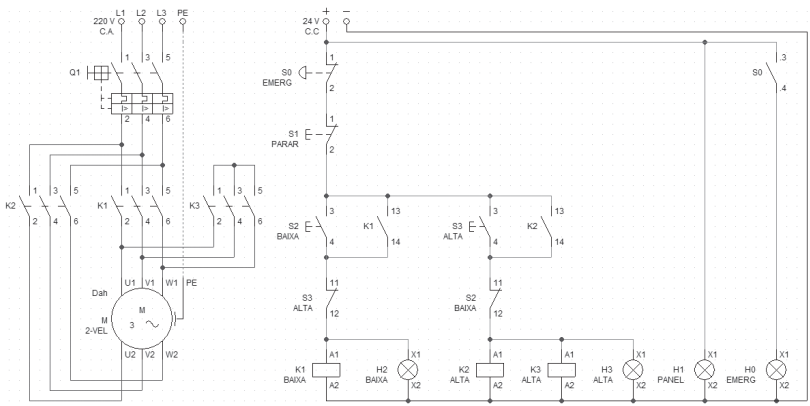
Resolução da situação-problema

Conforme foi estudado no último tópico desta seção, o motor Dahlander possui uma característica que o difere e é uma vantagem: sua rotação. Dessa forma, este será o motor mais indicado, pois em baixa rotação terá metade da rotação em alta, o que proporcionará melhor performance no exaustor.

Para que o sistema de acionamento fique automatizado, será necessário instalar um sensor tipo fim de curso na tampa, para que, quando removida, o sinal deste sensor comute a rotação do motor.

A Figura 2.22 ilustra o acionamento com o sensor tipo fim de curso instalado.

Figura 2.22 | Acionamento elétrico para controle inteligente do exaustor de ar



Fonte: elaborada pelo autor.

O sensor tipo fim de curso, S1, possui dois blocos de contatos, um normalmente aberto, NA, e outro normalmente fechado, NF. O contato NA será utilizado para energizar a bobina do motor em baixa rotação, pois assim, com a presença da tampa no recipiente, o contato do sensor será comutado para fechado. O outro contato, NF, para energização das bobinas de alta rotação, funcionará de forma que, com a tampa no recipiente sem contato comuta para aberto, com a retirada da tampa, volta a fechar e o motor passa de baixa para alta.

Faça valer a pena

1. Quando se aplica o acionamento para motores elétricos, espera-se que o acionamento seja projetado conforme as especificações dos motores, como potência, corrente nominal, tensão de alimentação etc. Outro ponto importante é sobre o fechamento do motor e a forma como é alimentado esse fechamento. Dessa forma, temos as seguintes possibilidades:
I. Partida direta.
II. Partida estrela-triângulo.
III. Partida compensadora.
IV. Partida aceleração rotórica.
V. Partida motor dahlander.
Um motor elétrico de indução trifásica, que apresenta duas tensões na placa de alimentação, 220 V e 380 V, pode ser acionado através de algumas partidas, portanto, assinale a alternativa que melhor representa essas partidas:
a) Partidas I, II e V estão corretas.
b) Partidas II, IV e V estão corretas.
c) Somente a partida V está incorreta.
d) Somente a partida V está correta.
e) Todas as partidas estão corretas.

2. Com o objetivo de instalar sensores em um tanque de armazenamento de água para controle do nível máximo e nível mínimo, o técnico escolheu sensores tipo chave boia com flutuador magnético, como na figura a seguir, no qual o sinal é emitido somente quando a água está totalmente por cima do sensor. O sensor possui um cabo com três fios com as seguintes informações: Alimentação 10-30 VCC, NA, NF. Ou seja, haverá um condutor com a tensão de alimentação para os sensores de nível e dois contatos, em cada sensor, que poderá ser utilizado no circuito de comando, NA e/ou NF.

Figura | Sensor de nível tipo boia com flutuante magnético

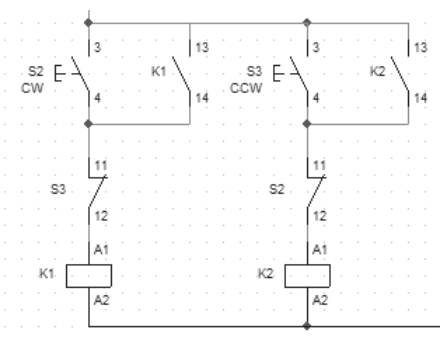
Fonte: <http://www.wika.com.br/hls_m_pt_br.WIKA?ProductGroup=72597>. Acesso em: 30 out. 2017.

É esperado que o funcionamento seja automatizado: quando no nível mínimo, a bomba deve ser ligada, e quando no nível máximo, a bomba deve ser desligada.

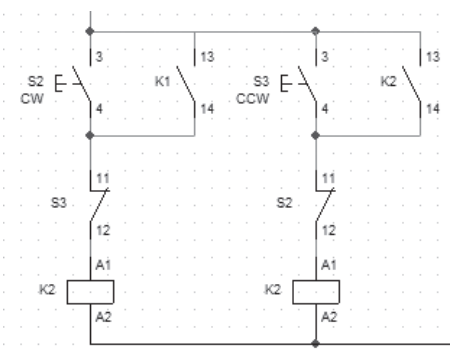
O técnico está em dúvida sobre qual dos blocos deverá utilizar para satisfazer o funcionamento do sistema de controle de nível, considerando que o tanque irá começar vazio. Marque a opção correta:
a) Sensor nível mínimo NA, sensor nível máximo NA.
b) Sensor nível mínimo NA, sensor nível máximo NF.
c) Sensor nível mínimo NF, sensor nível máximo NA.
d) Sensor nível mínimo NF, sensor nível máximo NF.
e) É necessário somente o sensor de nível mínimo com contato NA.

3. Foi instalado um portão com deslocamento horizontal, através do conjunto de transmissão por cremalheiras acopladas ao motor trifásico de 3 cv, com partida direta e reversão. Depois de instalado o motor e montando o acionamento no painel, o motor não está funcionando em sentido reverso. Como o eletricista não tinha um projeto, não sabe onde está o erro. Foram utilizados dois botões para controle de rotação, S2 para sentido horário (direto) e S3 para sentido anti-horário (reverso), contatores K1 para sentido direto e K2 para reverso. Ele desenhou as seguintes partes:

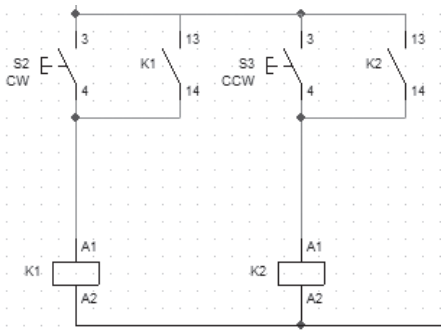
I.



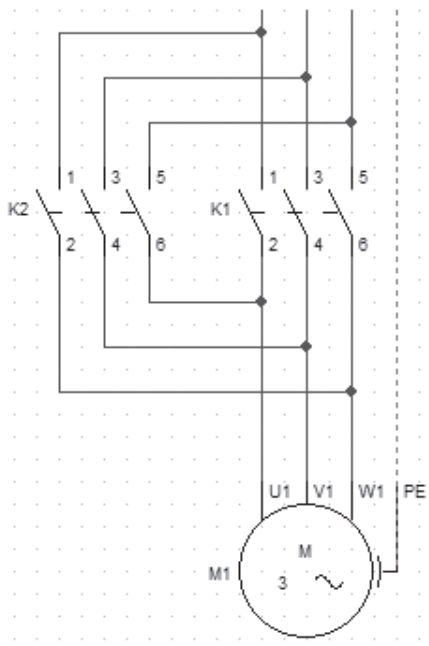
II.



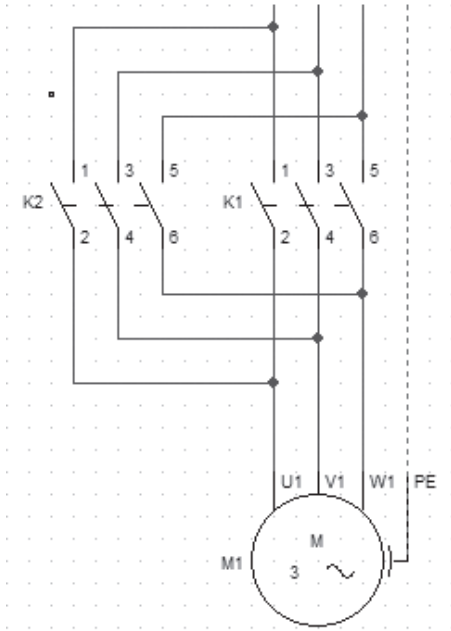
III.



IV.



V.



Marque a alternativa que representa as partes corretas do projeto, nas quais o motor funcionará nos dois sentidos de giro:

a) Acionamento I e carga IV.
b) Acionamento I e carga V.
c) Acionamento II e carga IV.
d) Acionamento II e carga V.
e) Acionamento III e carga V.

Seção 2.3

Aplicação de chaves de partidas

Diálogo aberto

Chegando ao final do projeto que você ajudou a elaborar para o cliente da máquina de envase, você pôde perceber que as atividades desempenhadas pelo profissional que irá projetar e desenvolver acionamento de motores elétricos vão além dos simples passos de pegar componentes e montar. É necessário, como visto na Unidade 1 e ao longo da Unidade 2, analisar as condições do ambiente, o tipo de carga acoplada ao motor, a forma de trabalho do motor, entre outras características importantes.

A última demanda solicitada pelo cliente consistia em apresentar uma demonstração do acionamento da máquina por partida em aceleração rotórica e melhorias que você julgasse necessárias. Assim, você apresentou os diagramas com sinalizações.

Agora, com o conhecimento adquirido nesta seção, você poderá sugerir ao cliente que utilize uma *soft-starter* ao invés da partida de aceleração rotórica e, dessa forma, você fará a última entrega do projeto na empresa KLS Acionamentos.

Como forma de justificar tal implantação e modificação, será necessário o estudo e aplicação desse conteúdo primeiro.

Como você irá apresentar ao cliente essa nova proposta? Você seria capaz de implementar o comando e sinalizar os parâmetros para esse acionamento?

Com comprometimento e curiosidade, você será capaz de apresentar novas soluções para este e outros projetos em que for atuar.

Esta seção apresenta, inicialmente, algumas chaves mecânicas de partida, e em seguida as chaves de partida estáticas, divididas em relé de estado sólido e *soft-starter*, sendo este último abordado com mais detalhes para que você possa compreender e saber aplicar tal recurso no acionamento de motores elétricos.

Bons estudos.

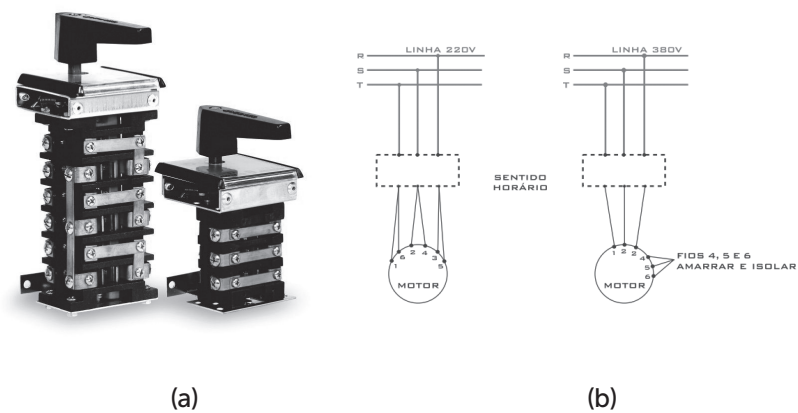
Não pode faltar

Chaves de partidas diretas e estrela-triângulo

Até o momento, foram abordados os métodos de acionamento para motores elétricos através de partidas diretas e indiretas, com os componentes eletroeletrônicos, contatores, botões, sinaleiros etc., que compõem a lógica de controle. Porém, comumente usados em máquinas e equipamentos mais antigos ou de simples operação, estão as chaves comutadoras de partidas elétricas. A Figura 2.23 ilustra o modelo de chave eletromecânica de partidas, parte interna e externa.

Esse recurso é basicamente composto por uma chave seletora que, quando comutada, modificando a posição inicial da chave de 0 para 1, por exemplo, ela atua sobre conexões internas feitas em chapas de cobre. O funcionamento das partidas direta, estrela-triângulo e compensadora por chaves dispensam os contatores, temporizadores, botões ou outro meio de comando, bastando somente a chave que opera internamente fazendo o fechamento das conexões e acionando o motor, tudo de forma manual.

Figura 2.23 | Chave comutadora para partida direta (a) e esquema de ligação (b)



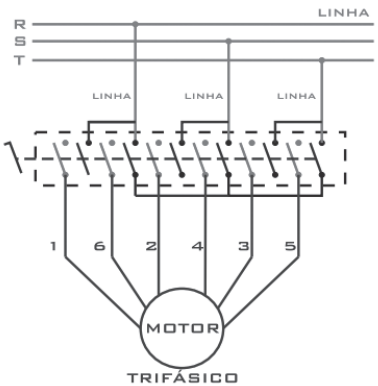
Fonte: <http://www.lombard.com.br/uploads/produtos/4a6c48db1912f537e0c097db29532c9f.pdf >. Acesso em: 5 nov. 2017.

No manual do fabricante, são informados o esquema de ligação e capacidade de acionamento para cada modelo de chave, por exemplo, uma chave para acionamento em partida direta de um motor de 10 cv poderá ser ligada em rede trifásica de 220 V ou 380 V, e seu esquema

de ligação será o mesmo, observando sempre se o fechamento do motor é para a mesma tensão da linha que o alimenta. Conforme ilustrado na Figura 2.24(b).

Já a Figura 2.24(a) exemplifica o modelo de chave para partida estrela-triângulo e seu esquema de ligação.

Figura 2.24 | Chave comutadora partida estrela-triângulo de sobrepor (a), e esquema de ligação (b)



(a) (b)

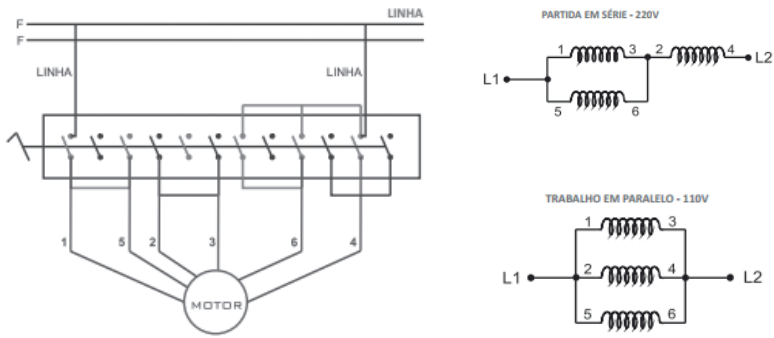
Fonte: <http://www.lombard.com.br/uploads/produtos/55f195226ded212fb850a6ebf280d9fe.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

Outros tipos de chaves de partidas

Como foi visto nas seções anteriores, acionamentos são os dispositivos que, combinados corretamente, proporcionam o funcionamento dos motores elétricos, e partidas são as formas como os motores são postos em funcionamento, podendo ser diretas ou indiretas.

Já as chaves de partidas são dispositivos de acionamento que fazem a partida do motor sem a necessidade de outros dispositivos combinados. Com esse conceito, temos diversos modelos de chaves de partida, por exemplo, a Figura 2.25 ilustra a chave de partida para motores monofásicos em série e paralelo.

Figura 2.26 | Chave de partida para motor monofásico série paralela (a) esquema de ligação e (b) ligação das bobinas



(a) (b)

Fonte: <http://www.lombard.com.br/uploads/produtos/58223beb172fa3e4bbea5f8110e0a61d.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

Para motores trifásicos, são encontradas as chaves:

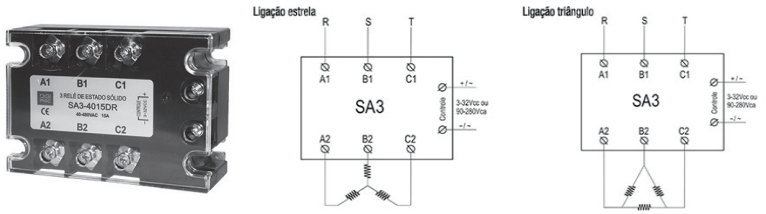
- Chaves de partida direta;
- Chaves de partida estrela-triângulo;
- Chaves de partida dupla polaridade.

Em ambos exemplos, as chaves para motores trifásicos são encontradas para operação em um único sentido de giro, há configurações de chaves com reversão e opção para instalação de frenagem com motor freio. Voltando a frisar que essas chaves não possuem dispositivos de proteção, sendo o acionamento feito mecanicamente conforme as ligações das chapas internas, de tal forma que cada vez mais estão sendo substituídas por painéis de acionamentos que atendam às normas NR-10 e NBR 5410.

Porém, no grupo de chaves de partidas, há ainda as chaves eletrônicas estáticas e os conversores de frequência. Na Unidade 4 serão aprofundados os conhecimentos e aplicações de inversores de frequência.

As chaves eletrônicas estáticas podem ser classificadas como relés de estado sólido, Figura 2.26, e *soft-starter*. Em ambos casos, os circuitos são baseados em tiristores que controlam a forma como é entregue a alimentação ao motor. A diferença entre eles será a complexidade dos circuitos eletrônicos, permitindo mais controle ou somente o acionamento.

Figura 2.26 | Relé de estado sólido (a) e terminais de conexão (b)



Fonte: <http://www.digimec.com.br/produtos/274/rele-de-estado-solido-trifasico>. Acesso em: 6 dez. 2017.

Os relés de estados sólidos apresentam as seguintes características:

- Número elevado de manobras;
- São robustos e resistentes a impactos, vibrações e campos eletromagnéticos por não possuírem partes móveis;
- Operam em ambientes úmidos e sujos;
- Não formam arcos-voltaicos;
- Velocidade no acionamento;
- Operação silenciosa;
- Não podem operar em circuitos com corrente contínua;
- Aquecem e possuem perdas maiores que os contatores;
- Possuem corrente de fuga;
- Aplicados em cargas com elevadas partidas, em sistemas de *by-pass*, para comutação de bancos de capacitores, instalação em ambientes explosivos ou com exigência de pouco barulho.

Pesquise mais

Os relés de estados sólidos possuem diversas aplicações e são comumente encontrados nos acionamentos de cargas CA. Para conhecer algumas aplicações e como são os circuitos eletrônicos, recomendamos os livros e site do professor Newton C. Braga, no site encontram-se diversos artigos sobre aplicações da eletrônica e em específico dos acionamentos estáticos no artigo que aborda tiristores como relés e chaves.

Disponível em: <http://newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/3732-art517.html>. Acesso em: 6 nov. 2017.

Princípio de funcionamento das chaves de partidas eletrônicas estáticas

As *soft-starters* são chaves de partidas estáticas com um microprocessador que atua no controle dos componentes eletrônicos, fazendo com que os acionamentos dos motores sejam mais eficientes do que as partidas estudadas até aqui. Um dos grandes motivos é que em seu circuito eletrônico há tiristores controlando o disparo das fases, o que resulta no controle da tensão de forma gradual e evita a corrente de pico.

Assimile

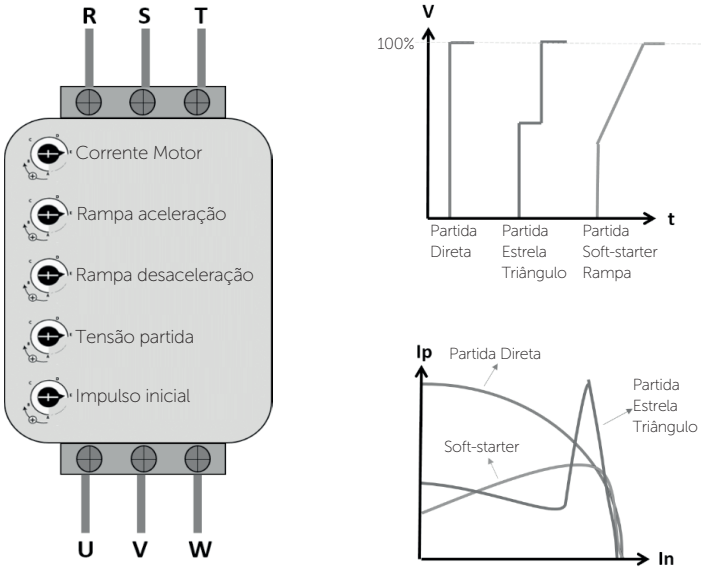
O objetivo ao utilizar as chaves *soft-starters* é limitar a corrente de partida, fazendo o acionamento em rampa de aceleração, transmitindo ao motor um torque gradual conforme a tensão aplicada, sendo esse processo de partida por rampa de aceleração durante um tempo selecionado na própria chave.

As opções para parametrização variam conforme o projeto do fabricante, basicamente possuem as seguintes operações:

- Impulso inicial – pulso de corrente durante um tempo preestabelecido para que a partida tenha condições de vencer a inércia das cargas com alto torque;
- Partida com limitação de corrente – essa operação permite que o acionamento seja limitado à corrente ajustada, podendo, por exemplo, ficar 30% menor do que a corrente de partida;
- Partida com rampa – ideal para cargas variáveis, podendo ser feito o ajuste por rampa de aceleração em um tempo estabelecido e, ao mesmo tempo, limitar o torque máximo na partida. Em certos modelos de *soft-starter*, esse ajuste é chamado de rampa dupla, justamente por realizar duas operações no acionamento;
- Parada suave – nessa operação a rampa é de desaceleração, fazendo com que a tensão seja decrescente, até o momento em que a própria força exercida pela carga seja superior ao torque produzido pelo motor.

Há modelos projetados com ajustes por parafusos, chaves seletoras, display com menus etc. A Figura 2.27 ilustra a parte da *soft-starter* com as operações de ajuste, e as curvas comparativas do tipo de operação.

Figura 2.27 | (a) Display exemplo de ajuste *soft-starter*, (b) gráfico comparativo de tensão e corrente de partida



Fonte: elaborada pelo autor.

Reflita

Motores com cargas menores que 50% de sua capacidade apresentam perdas de energia por, apesar da baixa carga, manter o motor em potência total de trabalho. Com o uso das chaves de partida estática, é possível otimizar esse funcionamento, pois poderíamos reduzir esse valor de tensão e corrente, fazendo com que o torque do motor seja menor, ajustando-se, assim, ao da carga. Como as *soft-starters* atuam no momento do arranque e, em alguns casos da parada do motor, existe alguma forma de fazer esse controle durante todo o funcionamento do sistema?

Pesquise mais

Para ilustrar melhor um modelo de *soft-starter* e suas características, nos vídeos disponibilizados pelos links abaixo são apresentados dados sobre *soft-s*, parametrização e energização.

Conheça as *Soft-Starters* SSW-07 e SSW-08. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=B6375iy3-BM>. Acesso em: 7 nov. 2017.

Ajustes das *Soft-Starters* SSW-07 e SSW-08 via HMI. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=NR-sFTDBxb4>. Acesso em: 7 nov. 2017.

Primeira energização da *soft-starter* SSW-06. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Cf0KlaBjEzk>. Acesso em: 7 nov. 2017.

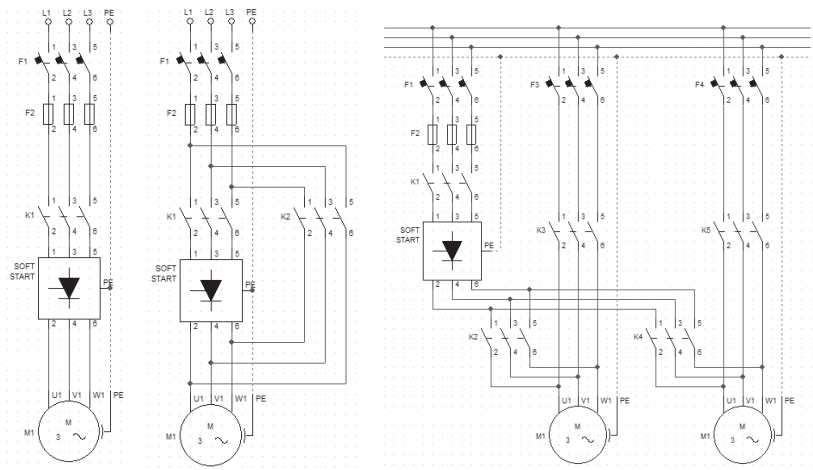
Aplicação e instalação das chaves de partidas eletrônicas estáticas

As *soft-starters* apresentam as seguintes características de aplicações:

- Redução na corrente de partida durante o acionamento dos motores elétricos;
- Redução na queda de tensão da rede de alimentação;
- Parametrização da aceleração em rampa e desaceleração suave do motor;
- Possibilidade de acionamento de vários motores com uma única chave *soft-starter*;
- Frenagem por corrente contínua;
- Proteção por sobrecarga;
- Proteção por detecção de desequilíbrio ou falta de fase.

As instalações mais comuns com *soft-starters* são apresentadas na Figura 2.28.

Figura 2.28 | Formas de instalação da *soft-starter* por (a) ligação direta, (b) ligação com *by-pass* e (c) ligação sequencial



Fonte: elaborada pelo autor.

- Ligação direta – a instalação é feita diretamente ao motor, sendo necessário, por motivos de segurança, um disjuntor magnético ou de sobrecarga, caso a *soft-starter* não tenha essa função. Além disso, poderão ser implementados contatores, conforme a lógica de acionamento;
- Ligação com *by-pass* – circuito aplicado quando o motor opera em regime normal de trabalho, reduzindo as perdas e o desgaste de componentes, como os tiristores da *soft-starter*;
- Ligação sequencial e simultânea – uma grande aplicação da *soft-starter* é o acionamento de diversos motores com a mesma chave, reduzindo o custo da instalação. Recomenda-se que os motores sejam da mesma potência e características de carga. A lógica do acionamento é que, após a partida do primeiro motor com operação da *soft-starter*, o mesmo estará em plena carga ou regime normal, dessa forma, a *soft-starter* está livre para outro acionamento. Essa é a ligação sequencial. Já a ligação simultânea aciona os motores ao mesmo tempo, por esse motivo, é necessária uma capacidade maior da *soft-starter*.

Quando se instalam as *soft-starters* fora de painéis, devem ser observados os fatores do ambiente, vibração, temperatura, exposição a chuvas, gases etc., ou, quando instaladas dentro de painéis, deverão prover exaustão adequada para que a temperatura não interfira no controle do motor. Para tanto, faz-se necessário o uso do manual de instalação fornecido pelo fabricante.

Com relação à instalação elétrica dessas chaves estáticas, é necessário que a tensão de rede seja compatível com a tensão nominal da chave, além disso, devem ser obrigatoriamente aterradas, sendo prevista uma reatância trifásica para quando utilizar cabos longos ou blindados, caso tenha efeitos de capacitância, e também é preciso verificar conexões. Pode-se implementar no circuito que alimenta a *soft-starter* os dispositivos de projeção, como fusíveis ou disjuntores termo-magnéticos, mesmo ele próprio já tendo tais proteções em seu circuito interno.

Exemplificando

Após instalar uma *soft-starter* e parametrizar para acionamento do ventilador no galpão, o eletricista percebeu que, após a partida, o motor desligava. Ao pegar o manual do equipamento, havia uma tabela com os possíveis erros. O Quadro 2.1 apresenta o roteiro contido no manual da *soft-starter* instalada pelo eletricista.

Quadro 2.1 | Roteiro de soluções para instalação de *soft-starter*

Problema	Ponto a ser verificado	Ação corretiva
Motor não gira	Fiação errada	Verificar as conexões de potência e comando.
	Programação errada	Verificar se os parâmetros estão com os valores corretos para a aplicação.
	Erro	Verificar se a *soft-starter* não está bloqueada devido a uma condição de erro detectado.
Rotação do motor oscila (flutua)	Conexões frouxas	Desligue a *soft-starter*, desligue a alimentação, aperte todas as conexões.
Rotação do motor muito alta ou muito baixa	Dados de placa do motor	Verificar se o motor utilizado está de acordo com a aplicação.
Trancos da desaceleração de bombas	Parametrização da *Soft-Starter*	Reduzir tempo ajustado para rampa.

Fonte: elaborado pelo autor.

Após analisar o quadro, o eletricista foi verificar o porquê de o motor não girar e detectou que não havia feito a regulagem para o parâmetro de corrente, conforme o motor instalado na aplicação, deixando-a bem menor do que o necessário. Dessa forma, ao dar a partida por impulso, o sistema entendia uma sobrecorrente e não desligava o acionamento do ventilador.

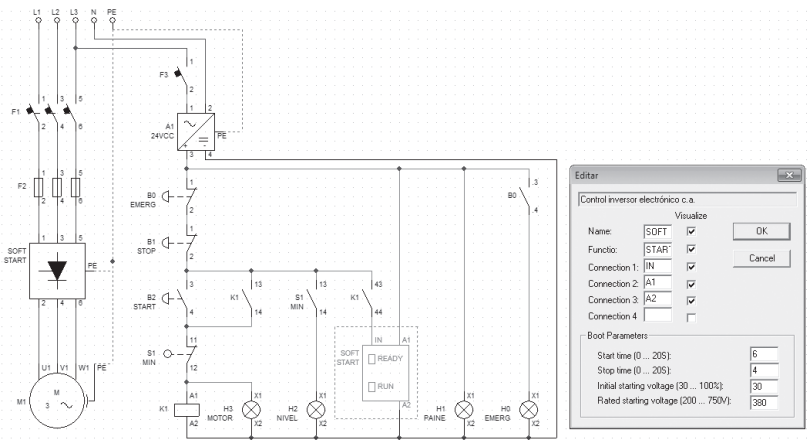
Sem medo de errar

Para finalizar o projeto do cliente, que consiste na automatização de uma máquina de envase, a qual ele mesmo projetou, desde o início você foi solicitado a apresentar e desenvolver soluções viáveis. Até o momento, a solução apresentada foi o acionamento elétrico utilizando uma partida indireta com aceleração rotórica, como solicitado pelo cliente.

Com o conhecimento adquirido sobre *soft-starter*, suas vantagens e facilidade de operação, você deverá sugerir ao cliente um projeto com a *soft-starter* ao invés da partida de aceleração rotórica.

A Figura 2.29 ilustra o diagrama elétrico utilizando a *soft-starter* para acionamento do motor empregado na aplicação. Lembre-se de que na aplicação será instalado um silo que alimentará a rosca de envase, e caso atinja o limite mínimo, o processo deverá ser paralisado até que o operador, ao encher o silo, acione o botão para iniciar o processo novamente. Enquanto o processo estiver parado, devido ao nível mínimo ter sido alcançado, um sinaleiro deverá ser acionado.

Figura 2.29 | Diagrama elétrico acionamento do motor com *soft-starter*



Fonte: elaborada pelo autor.

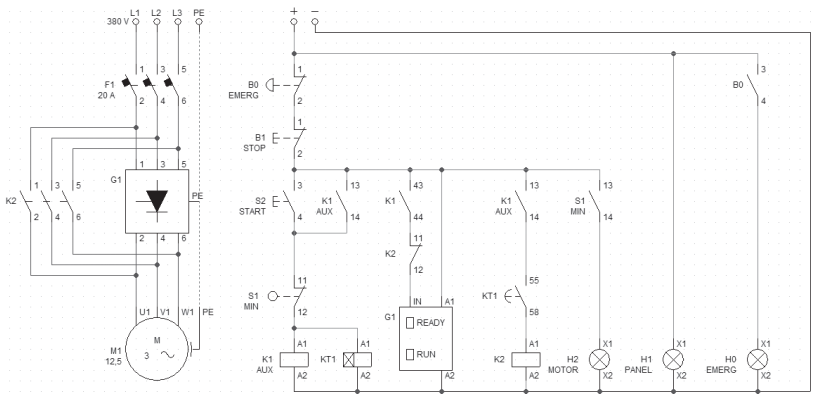
Utilizando o software CADSIMU para simulação do funcionamento do projeto, é possível parametrizar a *soft-starter* nos campos "Start time (0... 20S)" para o tempo da rampa de aceleração, no qual o valor mínimo de tensão inicial poderá ser definido através do campo "Initial starting voltage (30... 100%)", no campo "Stop time (0... 20S)" é configurado o tempo da rampa de desaceleração. Por último, há o

campo "Rated starting voltage (200.. 750V)" para definir a tensão de alimentação do motor.

Por se tratar de um simulador, o software não apresenta todos os parâmetros para controle eficiente da partida do motor na aplicação, porém, estes apresentados são suficientes para que o cliente entenda e perceba as vantagens de investir nesse projeto.

Analisando a Figura 2.29, perceba que foi utilizado um contator, K1, como um componente de acionamento auxiliar no circuito de comando, para manter o motor em funcionamento, fazendo um contato paralelo, ou contato de selo, com o botão S1, além de permitir o acionamento da *soft-starter*. Esse recurso poderia ser eliminado caso seja utilizada uma chave seletora ou botão de duas posições para fazer o acionamento liga e desliga. Nesse projeto, a *soft-starter* estará constantemente energizada, mantendo a alimentação para o motor elétrico, porém, o recomendável seria, após a partida do motor, utilizar um contator trifásico como *by-pass*, aumentando, assim, a vida útil do equipamento. A Figura 2.30 ilustra essa ligação.

Figura 2.30 | Diagrama elétrico acionamento do motor com *soft-starter* e *by-pass*



Fonte: elaborada pelo autor.

Dessa forma, através de um relé temporizador, é possível ligar um contator de *by-pass* após o motor ter sido corretamente acionado.

Avançando na prática

Substituição de múltiplos acionamentos por uma *soft-starter*

Descrição da situação-problema

Depois de alguns estudos de viabilidade, a empresa Café com Café

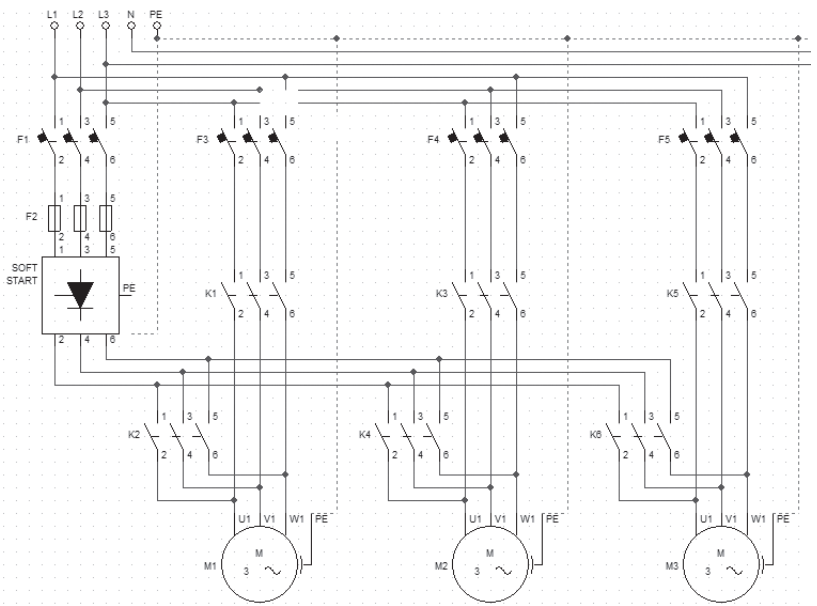
optou por substituir os acionamentos elétricos do seu único processo por acionamento com *soft-starter*. O antigo painel tinha três partidas estrelas-triângulos para três motores da mesma potência, porém, em aplicações diferentes. No processo, um motor movimenta a rosca transportadora, o outro motor está acoplado como misturador a um tanque de torra do café, vindo da rosca transportadora. E o último motor é utilizado no elevador de canecas para transportar o café do armazenamento ao silo que alimenta a rosca transportadora.

Resolução da situação-problema

Pode ser percebido que, na descrição do problema, o processo é sequencial, ou seja, o elevador de canecas enche o silo responsável por armazenar os grãos utilizados durante a torra de café, no qual há uma rosca transportadora do silo ao tanque de torra de café. Sendo assim, as três máquinas não precisam ser acionadas ao mesmo tempo.

A Figura 2.31 apresenta o diagrama elétrico para acionamento usando uma única *soft-starter* em três motores.

Figura 2.31 | Diagrama elétrico do acionamento por *soft-starter* para múltiplos motores em sequência



Fonte: elaborada pelo autor.

Importante observar que, ao fazer o acionamento do motor M1, os contatores que comutam para funcionamento do motor M2 e M3 deverão estar abertos, não permitindo a passagem de corrente elétrica. Através de K2 fechado e K3 aberto, o motor é acionado pela partida da *soft-starter* e, após total acionamento, um relé temporizador poderá entrar com o próximo motor automaticamente ou por um botão para comando manual. Quando for acionar o motor M2, o contator K2 deverá ser aberto e K1 fechado, fazendo o esquema de *by-pass*, só então K4 é fechado, estando K3 aberto, seguindo a mesma lógica de funcionamento para partida de M1 para M2 e M3. Outro ponto importante é que a cada troca de motores para ser acionado, o comando da *soft-starter* deverá ser resetado.

Faça valer a pena

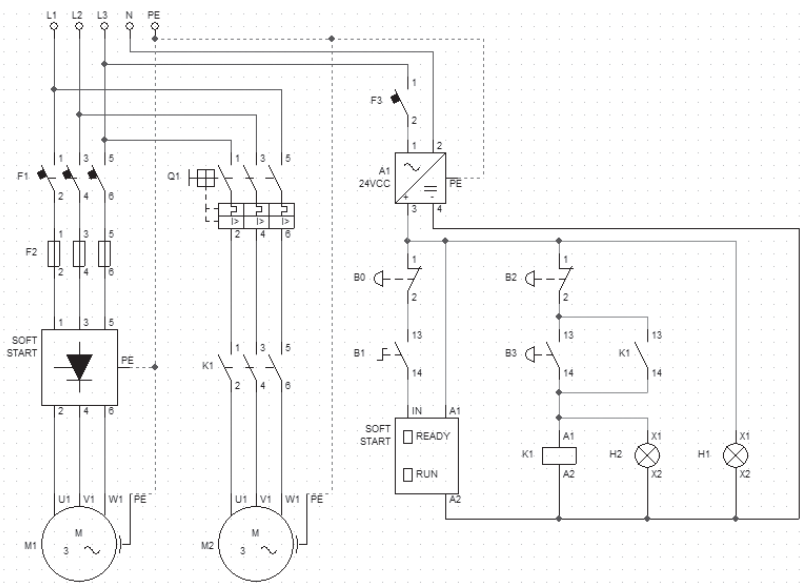
1. No cenário industrial, é comum encontrar diferentes tipos de acionamentos de motores elétricos para cada aplicação, divididos em partidas diretas e indiretas, sendo que este último tipo compreende partidas por redução de tensão e proporciona melhores performances. Conforme a aplicação e os índices de economias almejados, são utilizadas *soft-starters* e inversores de frequência substituindo os acionamentos feitos por relés contatores. Atualmente, alguns modelos de inversores possuem capacidade para se desenvolver pequenos algoritmos em linguagem de programação específica, capaz de melhorar ainda mais o desempenho.
Complete as lacunas da sentença a seguir:
As partidas _____ são acionamentos em que a rede elétrica alimenta o motor diretamente. Já as partidas _____ são acionamentos que visam partidas com baixa correte de pico. Classificados como partidas _____ estão, por exemplo, as partidas estrela-triângulo e por chaves eletrônicas estáticas.
E assinale a alternativa correta:
a) Indiretas, econômicas, indiretas.
b) Diretas, indiretas, indiretas.
c) Convencionais, inteligentes, econômicas.
d) Inteligentes, diretas, diretas.
e) Comuns, indiretas, indiretas.

2. O técnico responsável por uma empresa de envase de grãos de soja perguntou ao eletricista sobre quais os recursos que a *soft-starter* apresentava em relação aos demais acionamentos que tinham nos painéis das máquinas. O eletricista, ao explicar para o técnico responsável, resumiu os recursos da seguinte forma:

I. Rampa de aceleração para colocar o motor em movimento mesmo com carga pesada.
II. Rampa de desaceleração, permitindo uma parada suave.
III. Limite da tensão de pico durante a partida.
Assinale abaixo a alternativa que classifique corretamente as respostas dadas pelo eletricista ao técnico da empresa:
a) Todas afirmações estão corretas.
b) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
c) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
d) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
e) Todas afirmações estão incorretas.

3. Para acionamento de dois motores responsáveis pelo bombeamento de água para o tanque, são utilizados um com a *soft-starter*, devido à potência do motor e ao regime de trabalho, o outro com partida direta para acionamento da bomba reserva em caso de emergência. A figura a seguir ilustra o diagrama elétrico utilizado na aplicação.

Figura | Diagrama elétrico acionamento com *soft-starter* e partida direta



Fonte: elaborada pelo autor.

Marque a opção correta sobre o circuito de comando dessa aplicação:
a) O botão B1 aciona a *soft-starter* e não precisa de contato de selo, pois uma vez acionado a *soft-starter* mantém a carga em funcionamento.

b) O contator K1 é quem energiza o motor M2 para funcionamento, através do contato NF do botão B3 que, sempre que pressionado, permite a energização da bobina de K1 e o sinaleiro H2.
c) Tanto o botão B0 como o botão B2 podem ser botões de parada ou funcionar como botões de início do processo caso sejam instalados depois dos botões B1 e B3.
d) O único jeito e também o mais simples e prático para desacionar o circuito de comando é a abertura do disjuntor F3 sempre que quiser paralisar os motores.
e) O contato de selo de K1, paralelo ao contato do botão B3, é quem mantém a comutação do contator K1 para energização do motor elétrico e do sinaleiro H2.

Referências

FRANCHI, Claiton Moro. **Sistemas de acionamento elétrico**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2014. 152 p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 666 p.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Série Tekne. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 372 p.

Projeto de acionamentos de motores elétricos

Convite ao estudo

Nesta unidade, serão estudados os dispositivos mais utilizados nos acionamentos de motores elétricos, realizando os cálculos necessários para que o projeto esteja completo e garantindo o correto funcionamento. Você já observou em vídeos ou em estudos de casos que, quando mal dimensionados, os dispositivos dos acionamentos podem causar grandes perdas na produção, avarias nos componentes e até risco à segurança física.

Ao final, você será capaz de conhecer e identificar os principais tipos de dispositivos eletroeletrônicos em um sistema de acionamentos de motores elétricos, responsáveis pelo comando e pela proteção, bem como dimensioná-los.

Em seu novo desafio, imagine que você é o responsável pelo desenvolvimento do projeto de melhorias nos painéis elétricos da empresa Quero Doce Ltda., avançando com os projetos a cada seção desta unidade. Em um primeiro instante, foi fornecida pela empresa uma lista de prioridades, na qual consta um novo circuito de carga para a máquina de mistura do doce de leite, pois, além de arcaico, o atual apresenta paradas de produção devido ao aquecimento dos componentes do painel e às vezes até do motor. Depois de solucionado esse problema, sua tarefa será desenvolver o projeto com melhorias para o circuito de comando dessa máquina de mistura, incluindo o memorial de cálculo, e, por último, o projeto de acionamento para uma máquina recém-desenvolvida pela própria empresa que fará o envase e o fechamento dos potes de doce.

Diante dessa breve apresentação do novo desafio, como você se sente? Animado e ansioso para prover os resultados? Quais ideias você sugere aos projetos? Dos conhecimentos obtidos nessa jornada de aprendizagem, você possui as habilidades para solucionar as demandas?

Pois bem, na primeira seção desta unidade serão abordados os dispositivos de proteção e os cálculos necessários para dimensioná-los conforme o motor instalado na aplicação. Na segunda seção, serão apresentados os dispositivos de comando e, finalizando a unidade, na última seção estudaremos o passo a passo para o desenvolvimento de um projeto completo.

Bons estudos.

Seção 3.1

Dispositivos de proteção para acionamentos de motores elétricos

Diálogo aberto

A disciplina de acionamento de motores elétricos proporciona o aprendizado acerca das melhores formas para controlar os motores. O projeto de acionamento, para ser considerado correto, deverá estar alinhado com os dados da carga a ser controlada, no nosso caso, os motores elétricos. O estudo desta unidade trata do dimensionamento dos componentes e dispositivos de um sistema de acionamentos e cada seção propõe a você a construção do conhecimento para analisar, identificar e ser capaz de atuar com essas competências. Nesta seção, você terá o seguinte desafio:

Imagine que você é um técnico recém-contratado da empresa Quero Doce Ltda., responsável pelo desenvolvimento dos projetos de melhorias dos painéis elétricos. A primeira demanda recebida foi encaminhada pelo supervisor de produção e trata-se de uma máquina de mistura do doce de leite, muito utilizada ao longo do dia, porém que fica desarmando constantemente. Segundo o supervisor, o motivo disso é que, além do circuito elétrico ser arcaico, os componentes do painel e, às vezes, o motor ficam quentes. Como não há projeto no painel, você deverá elaborar um novo circuito de carga e, posteriormente, de comando, fazendo os cálculos necessários.

Constantemente você utilizará os conteúdos abordados nas unidades anteriores, de forma que o conhecimento não seja perdido, e sim cada vez mais compreendido e consolidado.

Sobre o aquecimento do motor e dos componentes, quais poderiam ser as causas e, de acordo com o que foi estudado na Unidade 1, quais as possíveis soluções? Quais dispositivos de proteção serão utilizados no circuito de carga? Para um motor de 12,5 cv, qual é a partida mais adequada, sendo que já possui material no tanque para ser misturado?

Esta seção começa com os recursos necessários para auxiliá-lo a entender e escolher o melhor dispositivo de proteção do circuito de carga. Em seguida estão descritas importantes recomendações a serem consideradas nos cálculos e projetos. Com os dados da

aplicação e o tópico sobre cálculos, você será capaz de dimensionar o projeto do circuito de carga e conhecer os pontos relevantes para sua instalação.

É sempre importante recorrer às seções anteriores em busca de algum conceito estudado ou mesmo fazer uso das referências bibliográficas.

Pronto para esse novo desafio?

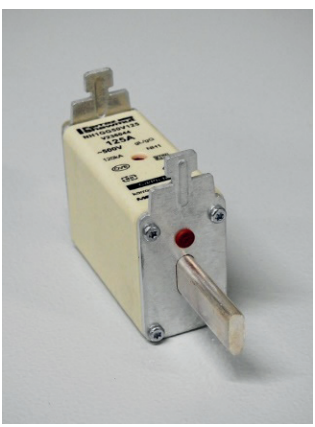
Não pode faltar

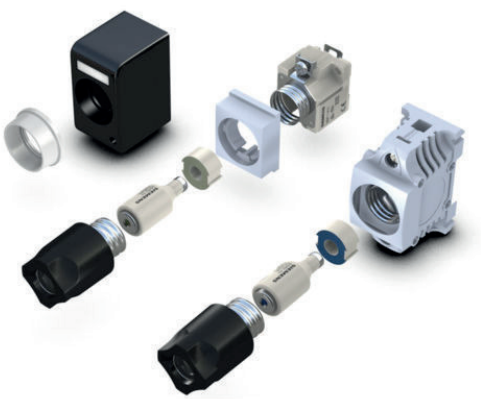
Tipos de componentes eletroeletrônico para sistema de proteção

Para ser classificado como acionamento seguro e de preservação física, tanto dos equipamentos quanto do profissional que o opera, torna-se importante a implantação de circuitos que possam atuar em condições anormais de sobrecorrentes, curto-circuito e sobrecargas. Esses circuitos de proteção incluirão dispositivos como fusíveis, disjuntores, relés de sobrecargas, relé falta de fase e outros com os mesmos princípios de relevância em segurança operacional.

Os fusíveis, conforme ilustrado na Figura 3.1, são dispositivos de proteção contra curto-circuito para motores, linhas alimentadoras e circuitos de comando.

Figura 3.1 | Fusíveis contra curto-circuito do tipo NH (a) e montagem do modelo D (b)





Fontes: (a) <https://pixabay.com/pt/elektrik-corrente-electricidade-2069797/>; (b) <http://www.directindustry.com/prod/siemens-low-voltage-products/product-25580-560504.html>. Acesso em: 29 jan. 2018.

O princípio de funcionamento do fusível é romper seu elemento fusível caso a corrente elétrica do acionamento ultrapasse seu valor máximo admissível. Essa sensibilidade ao aumento da corrente elétrica protege não só os componentes como também os condutores.

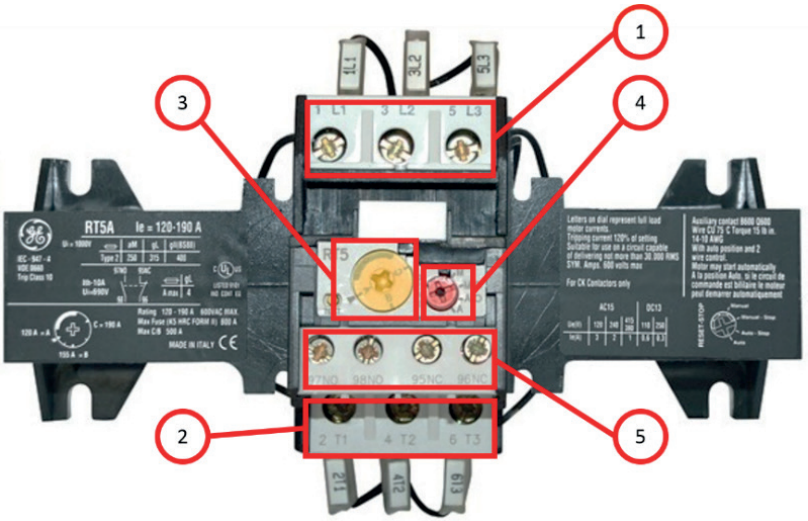
Se comparado com outras soluções para proteção de correntes elétricas de curto-circuito em grande intensidade, torna-se uma escolha com alto índice de custo-benefício. Porém, seu uso para proteção de correntes elétricas de sobrecarga não é recomendado devido a sua atuação ser para alta intensidade de corrente, em torno de 1,4 vezes o valor nominal sem margem de segurança.

De modo geral, os fusíveis apresentam as seguintes características:

- Possuem operação simples.
- Têm atuação única, ou seja, após atuarem na proteção contra curto-circuito, rompendo o elemento fusível, deverão ser substituídos para que o circuito volte a funcionar corretamente.
- Na maioria das aplicações, apresentam baixo custo.
- Não realizam manobras, apenas compõem, se for o caso, as chaves às quais estão acoplados – são essas chaves que fazem as manobras, e não os fusíveis.
- Podem causar desequilíbrio nas fases, por serem componentes individuais instalados cada um em uma fase, unipolar.
- Não são componentes com ajustes de tempo e corrente; sua escolha deverá ser feita conforme o tipo da aplicação.

Os relés de sobrecarga, conforme ilustrado na Figura 3.2, são dispositivos de proteção contra sobrecorrentes, ou seja, ele corta a alimentação dos circuitos ou cargas conectadas em seus terminais de saída, quando a corrente elétrica ultrapassa o valor ajustado ou o valor de projeto.

Figura 3.2 | Relé de sobrecarga



Fonte: adaptada de <http://br.geindustrial.com/produtos/automacao-e-controle/reles-de-sobrecarga>. Acesso em: 29 jan. 2018.

O funcionamento dos relés de sobrecarga baseia-se no monitoramento da corrente elétrica que passa por ele e segue até a carga. Para esse monitoramento, é utilizado um par bimetálico, ou seja, duas lâminas com coeficientes térmicos diferentes, e a corrente que passa pelo relé, e internamente passa pelas lâminas, pode resultar no deslocamento da junção, conforme a transferência de calor. Quem define a sensibilidade na percepção do aumento da corrente é o parafuso de parametrização para operação e ajuste de corrente da carga.

Na Figura 3.2 o parafuso de parametrização para operação é o de cor vermelha – identificado pelo número 4 – e apresenta quatro operações possíveis: somente rearme manual, rearme manual e testes, rearme automático e testes, somente rearme automático. O rearme é a ação que permite o relé voltar a funcionar após seu acionamento por sobrecarga, de forma que essa ação só poderá ser feita após o resfriamento do par bimetálico.

O parafuso de parametrização para ajuste de corrente, conforme ilustrado na Figura 3.2, é o de cor amarela – identificado pelo número 3. Esse ajuste apresenta uma faixa de corrente para que a corrente da carga esteja dentro do ajuste.

Ainda na Figura 3.2, a identificação 1 está sinalizando os terminais de entrada do relé, nos quais serão conectados os cabos de alimentação vindos do contator, por exemplo. A identificação 2 sinaliza os terminas de saída em que o motor será conectado. Já a identificação 5 aponta para os contatos NA e NF, que poderão ser utilizados no circuito de comando para acionamento de alarmes, por meio do contato NA, e desacionamento do circuito de comando, por exemplo, utilizando o contato NF em série com os demais comandos.

De modo geral, os relés de sobrecarga apresentam as seguintes características:

- Garantem proteção contra sobrecarga mecânica.
- Suportam o tempo de partida alto.
- Operam com elevados números de partidas.
- Atuam em conjunto com o contator.
- Não projetem a instalação contra curto-circuito.
- O rearme é feito somente após o resfriamento dos sensores bimetálicos e – recomendável – a análise do problema.

Os disjuntores, como ilustrado na Figura 3.3, são dispositivos de proteção. Além disso, conforme a norma NBR IEC 60947-2, os disjuntores são dispositivos de manobra capazes de acionar, manter e interromper a corrente elétrica que passa por eles, tanto em situações de correto funcionamento, como em situações de sobrecarga e curto-circuito, alimentando os circuitos e as cargas dependentes.

Figura 3.3 | Disjuntores unipolar, bipolar e tripolar

Fonte: <https://www.foxlux.com.br/blog/foxlux-2/o-que-e-e-pra-que-serve-um-disjuntor/>. Acesso em: 29 jan. 2018.

São dos tipos termomagnéticos diferenciados em minidisjuntor, disjuntores de caixa moldada para aplicações em baixa tensão e disjuntores-motores. Basicamente seguem o mesmo princípio de funcionamento, no qual sua atuação depende do comportamento do par bimetálico para sobrecarga, ação térmica, e do seu comportamento para curto-circuito, ação eletromagnética. A diferença é que nos disjuntores-motores há o ajuste da corrente, como nos réles de sobrecarga, e alguns modelos permitem identificar a falta de fase. Os disjuntores substituem os fusíveis nos circuitos de comando devido a sua ação sobre sobrecarga, e quando se utiliza os disjuntores-motores nos circuitos de carga não é necessária a instalação dos relés de sobrecarga. Em aplicações não industriais são utilizados os disjuntores interruptores residuais.

De modo geral, os disjuntores apresentam as seguintes características:

- Atuam em proteção de sobrecorrentes em casos de sobrecarga, disjuntores de elemento bimetálico e curto-circuito, disjuntores eletromagnéticos de bobina.
- Possuem modelos unipolar, bipolar, tripolar e tetrapolar, permitindo a instalação correta, e, diferentemente dos fusíveis, sua atuação é multipolar, ou seja, se atuado por sobrecorrente, interrompe todas as fases que passam por ele, evitando fases desiquilibradas.
- Possuem grande variedade para correntes nominais, geralmente de 5 a 3.000 A, e, nos modelos de disjuntores-motores, oferecem uma faixa de ajuste.
- Podem ser rearmados após atuação, sem necessidade de substituições.
- Alguns modelos permitem comando a distância.

Pesquise mais

Qual disjuntor utilizar na aplicação? Somente os magnéticos, térmicos ou termomagnéticos? A empresa Legrand, fabricante de componentes e soluções para proteção e manobra em circuitos elétricos, elaborou um pequeno artigo sobre esse assunto:

Disjuntores, os incompreendidos. Disponível em: <http://www.legrand.com.br/blog/noticias/referencias/disjuntores-esses-incompreendidos>. Acesso em: 29 jan. 2018.

Neste outro link é mostrada a atuação térmica e magnética de um disjuntor, bem como a identificação dos componentes internos do disjuntor:

Disjuntor termomagnético em funcionamento. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WjpeaUIHB-4>. Acesso em: 29 jan. 2018.

Dados importantes para dimensionamento dos dispositivos de proteção

É de conhecimento que a definição dos componentes a serem utilizados nos projetos de acionamentos depende da aplicação, do tipo de carga sobre o qual o motor elétrico está exercendo ação, dos dados do motor definidos a partir de necessidades e premissas da carga e da rede de alimentação, além do modelo de partida utilizado.

Acompanhando os circuitos elétricos de carga utilizados na Unidade 2, podemos perceber que o motor está ligado aos contatores com relés térmicos e, dependendo da lógica de funcionamento conforme a partida, acima deles estão os disjuntores magnéticos ou disjuntores-motores, térmicos, que substituem o conjunto de relés térmicos e disjuntores magnéticos. Em alguns projetos, é possível ter ainda os relés de falta de fase e fusíveis.

Com relação aos fusíveis, o dimensionamento e a escolha serão feitos por meio dos seguintes dados:

- Classe de serviço: envolve os dados de classificação do fusível com relação ao tipo do serviço: função e objetos protegidos. No Quadro 3.1 são apresentados os tipos de classe de serviço. Em acionamentos de motores elétricos são comumente utilizados os de modelo aM, proteção parcial de equipamentos eletromecânicos.
- Tempo de fusão: consiste no tempo em que o fusível levaria para fundir, quando sujeito ao pico de corrente de partida (I_p) durante o tempo de partida do motor (T_p).
- Corrente do fusível, IFusívelI: o fusível deverá ser dimensionado para uma corrente de no mínimo 20% superior à corrente nominal, IN, do motor protegido e menor que a corrente dos contatores, relés de sobrecarga e outros que estão na mesma linha que o motor.

- Tipo do fusível: tipo D, diametral ou Diazed, utilizado em residências e indústrias, com correntes de 2 a 63 A em baixa tensão, 500 V e ruptura de 50 kA; e o tipo NH, com baixa tensão de alta capacidade, para uso industrial, em que a corrente seja de 4 a 630 A em baixa tensão, 500 V, porém ruptura de 120 kA.

Quadro 3.1 | Classe de serviço dos fusíveis

Posição	Letra	Descrição
Primeira letra (minúscula)	g	Fusível limitador de corrente, atuando tanto na presença de curto-circuito quanto na de sobrecarga. Fusível de faixa completa.
	a	Fusível limitador de corrente, atuando somente na presença de curto-circuito. Fusível de faixa parcial.
Segunda letra (maiúscula)	G	Proteção de linha, uso geral.
	L	Proteção de linha.
	M	Proteção de circuitos motores e equipamentos eletromecânicos.
	Tr	Proteção de transformadores.
	R	Proteção de semicondutores, ultrarrápido.
	S	Proteção de semicondutores e linha.
	B	Proteção de instalações em condições pesadas (ex.: minas).

Fonte: Fernandes Filho & Dias (2014, p. 55).

Nos relés de sobrecarga, o dimensionamento envolve pequenas análises, tanto do ambiente de instalação como do tipo de carga a ser acionada. Com relação ao ambiente de instalação, caso a temperatura possa interferir, é utilizado o relé com compensação térmica, de forma que seu funcionamento fique apenas no monitoramento da corrente elétrica e seus efeitos de aquecimento do bimetal. A outra análise é realizada pelo tempo de partida necessário, pela corrente de consumo do motor e por sua classe de serviço.

Os relés de sobrecarga possuem duas categorias das condições de curto-circuito. A primeira é para os dispositivos de proteção e

até de acionamento da carga, relé sobrecarga e contatores, que poderão sofrer avarias nas quais são obrigatórias as substituições e a avaliação em detalhes do problema que os levaram ao dano. A segunda categoria não permite quaisquer danos ou perdas dos ajustes, preservando as isolações e impossibilitando a fusão dos contatos e ligações internas de cada componente, sendo suficiente uma avalição superficial. Em ambos os casos não haverá risco de segurança para as pessoas e instalações.

Como já citado anteriormente, os disjuntores termomagnéticos servem para proteger os circuitos elétricos contra curtos-circuitos e sobrecargas, sendo que a correta escolha é feita observando o número de fases da rede de alimentação para que seja o mesmo do de polos do disjuntor, a corrente de trabalho do disjuntor conforme o dimensionamento e o tipo da curva de operação, conforme o Quadro 3.2, no qual há a determinação da velocidade de atuação conforme o tipo da carga. Os disjuntores-motores são de uso específico em cargas indutivas com baixa frequência de operação, além de ocuparem menos espaços por atenderem as necessidades de comutação e proteção de sobrecargas e curto-circuito.

Quadro 3.2 | Curva de operação dos disjuntores

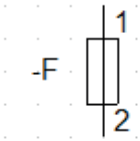
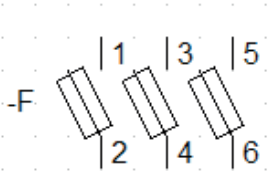
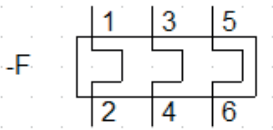
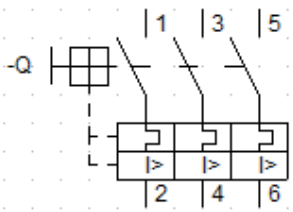
Curva	Aplicação	Exemplo
B	Circuitos e cargas resistivas	Chuveiro elétrico
C	Circuitos e cargas mistas, resistivas e indutivas	Lâmpadas, bomba d'água, instalações em geral
D	Circuitos e cargas indutivas	Motor elétrico

Fonte: elaborado pelo autor.

Assimile

Todos os componentes dos circuitos elétricos possuem simbologias recomendadas em normas. Atualmente encontram-se canceladas e sem substituições tanto a Norma Brasileira para Simbologias em Instalações Elétricas Prediais, a NBR 5444, como as Normas Internacionais IEC 60417, Simbologia de Equipamentos, e IEC 60617, Simbologia para Diagramas. Porém, mesmo assim, os projetos e softwares específicos mantêm tais simbologias como forma padrão. O Quadro 3.3, apresenta as simbologias dos fusíveis, relés de sobrecarga e disjuntores.

Quadro 3.3 | Simbologia para dispositivos de proteção

Dispositivo	Simbologia
Fusíveis instalados em linha	
Fusíveis seccionáveis por chave	
Relé de sobrecarga	
Minidisjuntor	
Disjuntor-motor	

Fonte: elaborado pelo autor.

Dimensionamento dos dispositivos de proteção

O primeiro dimensionamento a ser feito será com relação aos fusíveis. Foi estudado nesta seção o dimensionamento como sendo 20% maior do que a corrente nominal ou pelo gráfico de tempo de fusão, escolhendo o de maior valor entre esses dois métodos.

Exemplificando

Dimensionar os fusíveis para proteção de um motor elétrico a ser ligado em rede 220 V trifásico, com acionamento por partida direta, sendo o motor de 7,5 cv com corrente nominal, I_N, de 20 A e relação corrente de partida por nominal, I_P / I_N , de 8,2. O motor necessita de 10 segundos para atingir a rotação plena.

Analisando os 20% superiores à corrente nominal de 20 A, obtém-se 24 A.

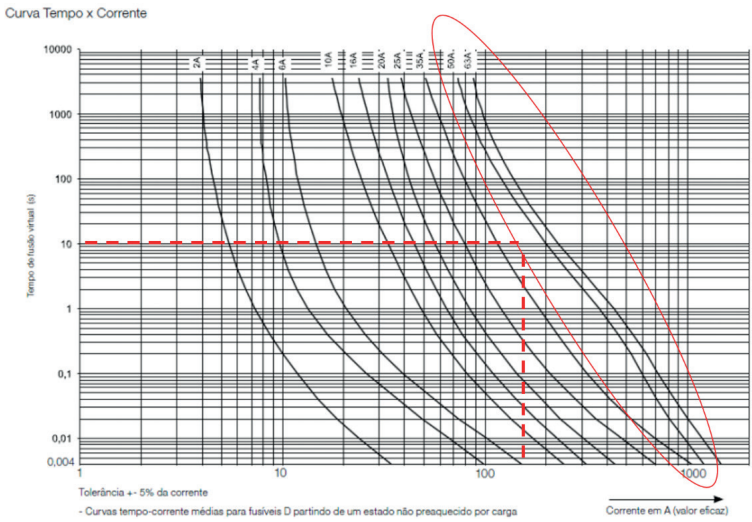
Para analisar pelo gráfico de tempo de fusão, é necessário saber qual é a classe de serviço e o tipo do fusível. Pelo Quadro 3.1 entende-se que a carga a ser protegida é um motor, segunda letra M, podendo atuar como faixa completa, g, caso o circuito não tenha dispositivo de proteção contra sobrecarga ou de faixa parcial, a, para circuitos com dispositivo para proteção de sobrecarga. Então, teremos aM ou gM, o que nos levará a consultar o catálogo de algum fabricante e verificar qual das opções ele possui. Vale lembrar que, conforme foi dito no início da seção, o fusível não é o melhor dispositivo de proteção contra sobrecarga. Portanto a escolha seria os de classe aM.

Como a carga é pequena, tanto o tipo D quanto o tipo NH atenderia essa aplicação, mas, por questões de custos, os do tipo D são a primeira escolha.

Manipulando a fórmula $I_P / I_N = \frac{I_P}{I_N}$, é possível encontrar o valor da corrente de partida, IP, de 164 A.

Observe a Figura 3.4, em que é ilustrado o gráfico para análise da escolha do fusível por tempo de fusão.

Figura 3.4 | Gráfico curva tempo-corrente dos fusíveis tipo D



Fonte: adaptada de Fernandes Filho & Dias (2014, p. 58).

Analisando a Figura 3.4, podemos encontrar o valor do fusível de 50 A por meio dos traços feitos no eixo tempo, 10 s, e no eixo corrente, 164 A.

O dimensionamento dos relés de sobrecarga depende do valor da corrente nominal, I_N, do motor a ser acionado, pois a faixa de ajuste de corrente do relé, I_R, deverá estar em torno deste valor. Além desse dado, os fatores de serviços dos motores são divididos em duas constantes k para compor a equação final no dimensionamento dos relés de sobrecarga, sendo considerados dois valores:

- Constante $k = 1{,}15$ para os fatores de serviço menores que 115%.
- Constante $k = 1{,}25$ para os fatores de serviço iguais ou maiores que 115% ou cuja temperatura ambiente for maior que 40 ºC.

A equação final para dimensionamento será: $I_R = k \times I_N$.

Por meio dos catálogos de fabricantes é possível verificar essas informações e outras especificações técnicas.

Os dimensionamentos dos disjuntores são feitos levando em consideração o somatório das correntes das cargas a serem acionadas e que terão o mesmo disjuntor como proteção, e neste

caso consideramos esse somatório como corrente de projeto, I_B. Por meio da corrente de projeto e da previsão de aumento de carga, fator de demanda, é possível determinar a corrente dos cabos, I_Z, que fará as ligações entre os dispositivos. Porém a corrente nominal do disjuntor, I_N, deverá estar entre a corrente de projeto e a corrente dos condutores, pois sua função é garantir o funcionamento do circuito por completo. Para tanto, é recomendado que essa corrente somatória para o dimensionamento do disjuntor, I_2, seja 45% menor que a corrente de condução dos condutores. Sendo:

- $I_B \leq I_N \leq I_Z$, ou seja, a corrente de projeto, I_B, é menor que a corrente nominal do disjuntor, I_N, que por sua vez é menor que a corrente suportada pelo condutor.
- $I_2 \leq 1{,}45 \times I_Z$, dessa forma, além do disjuntor satisfazer a condição anterior, sua corrente resultante do somatório das cargas deverá ser menor que 45% da corrente suportada pelo condutor.

Instalação dos dispositivos de proteção

A montagem de um conjunto fusível é constituída por:

- Base: suporte no qual o elemento fusível será acoplado e permitirá que a corrente flua entre as extremidades do fusível.
- Elemento fusível: fio condutor de cobre, prata, estanho, chumbo ou liga, imerso em areia de quartzo para evitar a formação de arco voltaico, envolvido por um corpo externo cerâmico. Em cada extremidade há um contato metálico fechando o componente, e é por essas extremidades que a corrente irá fluir.

Dependendo do modelo do fusível, tipo D ou NH, outros elementos constituirão os conjuntos fusíveis, como anel de proteção, parafuso de ajuste e sinalizador de operação.

O conjunto fusível deverá ser instalado em série no circuito elétrico, pois os materiais de construções do fusível permitem que ele seja mais sensível ao aquecimento na passagem da corrente elétrica do que outros elementos.

Depois de romper o elemento fusível, o acionamento é interrompido e, para voltar a funcionar, é necessária uma substituição. Conforme a NR-10, não é permitida a improvisação de algum recurso no lugar dos fusíveis, pois poderão desencadear problemas comprometedores de segurança e bom funcionamento.

Assim como os fusíveis, os relés de sobrecarga são instalados em série com a carga, pois desta forma, quando ocorrer alguma sobrecarga, ele poderá interromper a passagem de corrente elétrica e consequentemente desligar o motor. Para uma proteção mais completa, os fusíveis devem ser usados em conjunto com os relés de sobrecarga ou os disjuntores magnéticos devem substituir os fusíveis.

A instalação dos disjuntores também será feita em série como no circuito, sendo observado o correto dimensionamento e, no caso dos disjuntores-motores, o ajuste de atuação. Assim como nos relés de sobrecarga, os disjuntores-motores possuem dois contatos disponíveis para serem utilizados no circuito de comando, um NF e outro NA.

Reflita

Nos projetos da Unidade 2, foram utilizados somente os disjuntores-motores para proteção no circuito de carga e os minidisjuntores nos circuitos de comando. Por que não foram inseridos nas linhas de alimentação os fusíveis, bem como os relés de sobrecarga em conjunto com os contatores?

Como deveriam ser dimensionados o disjuntor do circuito de carga e os condutores de ligação entre os dispositivos para o motor de 7,5 cv utilizado na partida direta, se ele apresenta corrente nominal de 20 A?

Sem medo de errar

Voltando ao cenário do novo desafio, agora como técnico da empresa Quero Doce Ltda., seu projeto é desenvolver um circuito de carga para a máquina de mistura do doce de leite, a qual é bastante utilizada ao longo do dia e que, segundo o supervisor de produção, está parando diversas vezes ao dia, atrasando a produção. Enquanto ele explicava o funcionamento da máquina e o que estava acontecendo, você pôde presenciar a parada da máquina. Abrindo o painel com o acionamento do motor, você constatou aquecimento nos componentes e nos condutores e, acoplado à máquina, o motor também estava um pouco quente. Neste momento o supervisor o questionou sobre os possíveis problemas e qual seria a partida que você planeja desenvolver no novo acionamento.

Com o conhecimento adquirido na Seção 3 da Unidade 1, você conferiu com um voltímetro as ligações dos enrolamentos do motor, fez a análise prévia do nível de tensão entre as fases, percebeu ao avaliar o motor que ele aparentava ser novo e que os rolamentos estavam lubrificados e a caixa acoplada estava alinhada e ainda verificou com um termômetro industrial a temperatura ambiente, do painel e do motor. Ao final foi constatado que somente a temperatura do painel apresentava alguma irregularidade. Mesmo sem o projeto elétrico em mão, foi fácil observar que o único dispositivo de proteção eram os fusíveis em linha, 63 A cada; os cabos que faziam as ligações elétricas estavam com diferentes bitolas, de 2,5 a 6 mm^2 e o relé de sobrecarga, 20 A, acoplado no contator estava ajustado no máximo.

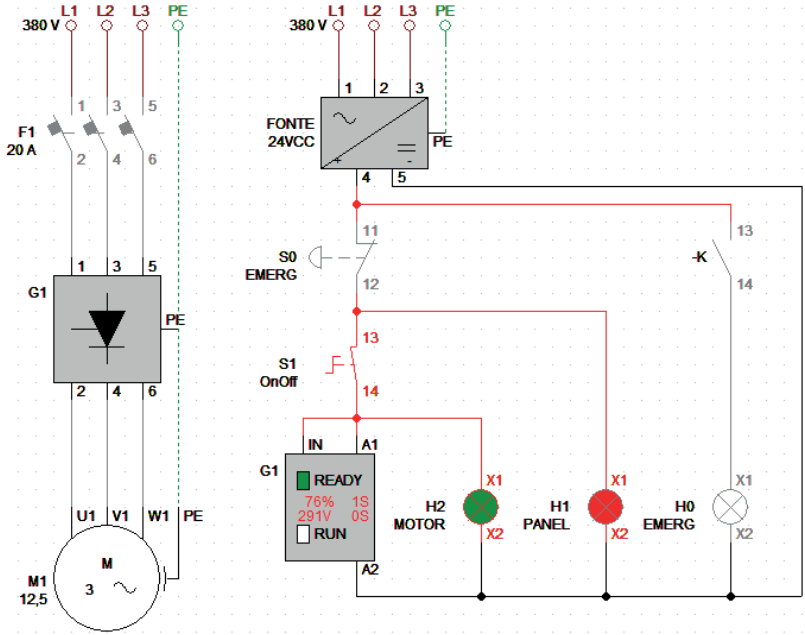
Como proposta de acionamento da partida poderiam ser utilizados a compensadora, a aceleração rotórica, a *soft-starter* ou o inversor de frequência, sendo os dois últimos os mais indicados para obter uma ótima performance de acionamento e eficiência.

O supervisor solicitou um primeiro projeto para analisar o custo de investimento com a partida *soft-starter*.

Para a *soft-starter* (Figura 3.5), é possível utilizar somente o minidisjuntor, pois ela apresenta proteção contra sobrecarga e curto-circuito, além de falta de fase. Quanto ao circuito de comando, serão utilizados apenas sinaleiros e botões acoplados diretamente nos terminais da *soft-starter*. Os seguintes dimensionamentos foram feitos para os dispositivos de proteção e circuito de carga:

- Como o motor é de 12,5 cv, ligado em 380 V trifásico, possui corrente nominal de 18,1 A – dados da placa de identificação.
- O disjuntor será de 20 A – valor mais próximo no catálogo do fabricante que satisfaz a condição $I_B \leq I_N \leq I_Z$.
- O cabo de 2,5 mm^2 suportando 30 A – valor que satisfaz as condições de a corrente do condutor ser 45% maior que a corrente da carga, $I_2 \leq 1{,}45 \times I_Z$, e maior que a corrente nominal do disjuntor. Dados do cabo conforme tabela do fabricante Corfio para instalação de três cabos carregados dentro de um perfil liso (disponível em: <https://www.corfio.com.br/pt/area_tecnica/tabela_04>. Acesso em: 29 jan. 2018).

Figura 3.5 | Acionamento elétrico com *soft-starter*



Fonte: elaborada pelo autor.

Acionando o motor por meio da partida eletrônica *soft-starter*, é importante observar que o motor será acionado com $^{1}/_{3}$ do torque nominal e, de forma proporcional, esse valor aumentará conforme o tempo de rampa chega ao final.

Avançando na prática

Dimensionamento do circuito de carga para ventilador industrial

Descrição da situação-problema

Para instalação de um ventilador industrial no galpão, foi solicitado o cálculo e o projeto do circuito de carga com minidisjuntor e relé de sobrecarga para uma rede de 220 V trifásico.

O motor do ventilador possui 5 cv com acionamento por partida estrela-triângulo de 5 segundos, fator de serviço de 125% e corrente nominal de 15 A.

Resolução da situação-problema

Analisando o fator de serviço para dimensionamento do relé de sobrecarga, sabe-se que será multiplicado pela constante 1,25, fator de serviço maior que 115%, de forma que:

- $I_R = k \times I_N$
- $I_R = 1{,}25 \times 15$
- $I_R = 18{,}75\ \text{A}$

O valor encontrado de 18,75 A será o valor de ajuste, e o relé escolhido deverá ter esse valor em sua faixa de ajuste de corrente.

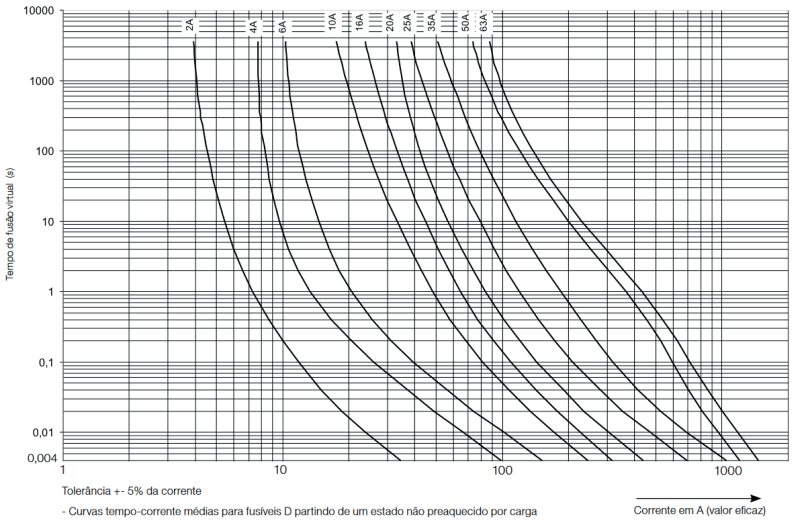
O disjuntor acima da corrente será de 20 A, conforme catálogo do fabricante, satisfazendo a condição $I_B \leq I_N \leq I_Z$.

O cabo poderia ser o de 1,5 mm^2, que suporta 22 A, ou o de 2,5 mm^2, suportando 30 A, pois ambos satisfazem as condições de a corrente do condutor ser 45% maior que a corrente da carga, $I_2 \leq 1{,}45 \times I_Z$, ou seja, $15 \times 1{,}45 = 21{,}75\ \text{A}$, e maior que a corrente de projeto, $I_B \leq I_N \leq I_Z$. Dados do cabo conforme tabela do fabricante Corfio para instalação de três cabos carregados dentro de um perfil liso (disponível em: <https://www.corfio.com.br/pt/area_tecnica/tabela_04>. Acesso em: 29 jan. 2018).

Faça valer a pena

1. No circuito elétrico de acionamento do motor de 10 cv, foi desenvolvida uma partida estrela-triângulo. Porém os fusíveis dimensionados não suportaram a corrente de partida. Verificando o projeto e a curva tempo-corrente dos fusíveis (figura a seguir), constatou-se que os cálculos foram feitos para um motor menor.

Figura | Curva tempo-corrente do fusível tipo D



Fonte: Fernandes Filho & Dias (2014, p. 58).

Considerando a corrente nominal do motor de 14,9 A, quando ligado em 380 V para um acionamento em estrela-triângulo e partida de 3 segundos, qual alternativa melhor apresenta o valor dos fusíveis para essa aplicação em relação à figura, se a relação corrente de partida por corrente nominal for de 7,9?

a) 35 A.
b) 25 A.
c) 20 A.
d) 50 A.
e) 30 A.

2. Com a finalidade de melhorar o sistema de proteção e manobra da máquina de corte, foi sugerida a instalação do relé de sobrecarga depois do contator em linha com o motor elétrico ligado em rede 220 V trifásico, com acionamento por partida direta de 5 segundos e fator de serviço de 105%. Consultando o catálogo do fabricante, o técnico se deparou com diversas opções para escolha do relé de sobrecarga.

Sendo o motor de 7,5 cv com corrente nominal, I_N , de 20 A e relação corrente de partida por nominal, I_P/I_N , de 8,2, marque a opção que melhor apresenta o dimensionamento para a corrente do relé de sobrecarga, IR, nesta aplicação.

a) 25 A.
b) 21 A.
c) 23 A.
d) 205 A.
e) 188,6 A.

3. Após estudar sobre os dispositivos de proteção, o eletricista responsável da empresa de laticínios resolveu melhorar o painel elétrico desenvolvendo o projeto elétrico e a montagem do novo painel, dentro da norma e com o disjuntor-motor. As tabelas a seguir são utilizadas para o dimensionamento. Sendo o motor escolhido de 12,5 cv alimentado em 220 V trifásico, qual é a

Tabela | Capacidades de condução de corrente método C - Corfio

Seções nominais (mm^2)	Método C para 3 condutores carregados
4	40
6	52
10	71

Fonte: adaptada de <https://www.corfio.com.br/pt/area_tecnica/tabela_02>. Acesso em: 29 jan. 2018.

Tabela | Correntes nominais do motor trifásico W22 premium WEG

Potência nominal (cv)	220 V trifásico - 1800 rpm	380 V trifásico - 1800 rpm
12,5	31,2 A	18,1 A

Fonte: adaptada de <http://ecatalog.weg.net/tec_cat/tech_motor_sel_web.asp#>. Acesso em: 1 fev. 2018.

Tabela | Disjuntor-motor WEG MPW40 até 40 A – termomagnético

Corrente nominal In (A)	Faixa de ajuste da corrente nominal
20	16 ... 20
25	20 ... 25
32	25 ... 32
40	32 ... 40

Fonte: adaptada de Weg ([s.d.], p.17).

alternativa a seguir que melhor apresenta o dimensionamento para o cabo condutor a ser utilizado nas ligações elétricas e para o disjuntor-motor?
a) Condutor de 6 mm^2 e disjuntor-motor de 25 A.

b) Condutor de 10 mm^2 e disjuntor-motor de 40 A.
c) Condutor de 4 mm^2 e disjuntor-motor de 40 A.
d) Condutor de 6 mm^2 e disjuntor-motor de 32 A.
e) Condutor de 10 mm^2 e disjuntor-motor de 25 A.

Seção 3.2

Dispositivos de comando para acionamentos de motores elétricos

Diálogo aberto

Prezado aluno, como tem sido solucionar os problemas e desenvolver os projetos que envolvem os acionamentos de motores elétricos? É interessante observar que esta disciplina demanda muito empenho e senso de curiosidade para que você possa compreender os conceitos e fundamentos cada vez mais e saber aplicar todos eles nas soluções propostas. Nesta seção teremos o estudo sobre os tipos e dimensionamentos necessários para os componentes e dispositivos que fazem o controle e o comando dos acionamentos.

Na primeira tarefa desenvolvida na empresa Quero Doce Ltda., você elaborou um circuito de carga para a máquina de mistura do doce de leite usando uma soft-starter, o que resultou na melhoria da produção, na redução drástica das paradas para manutenção corretiva e no aumento da vida útil dos equipamentos, além da redução do pico de corrente na rede elétrica da empresa.

Nesta segunda fase, você foi solicitado a projetar o circuito de comando desse acionamento, incluindo outros motores de menor potência que farão a alimentação dos ingredientes por meio de sistemas dosadores. A finalidade é automatizar o processo de fabricação do doce de leite conforme o descritivo de funcionamento:

- Ao iniciar o processo por meio do botão pulsante, NA, "Start", o motor principal, misturador, é iniciado.
- Quando o botão pulsante, NA, "Fase1", for pressionado, o motor trifásico de $\frac{1}{4}$ cv é acionado por partida direta para dosagem do leite.
- No tanque de mistura foram instalados quatro sensores de nível e, a cada nível alcançado, um sinalizador luminoso é ligado no painel para indicar o nível atual.
- Quando o nível 2 for alcançado, outro motor trifásico de $\frac{1}{4}$ cv é acionado por partida direta para dosagem do açúcar.
- A dosagem do açúcar para quando chegar no nível 3.

- Essa dosagem poderá ser acionada de forma manual por meio do botão pulsante, NA, "Fase2", a qualquer momento até alcançar o nível 4.
- Quando o nível 4 for alcançado, a dosagem do leite é interrompida.
- Após chegar ao nível 4, o processo se manterá em mistura e aquecimento durante um tempo de uma hora, e só então todo o processo é paralisado.
- Outra forma de parar o processo é por meio do acionamento do botão de segurança, NF.
- É preciso prever as demais sinalizações luminosas de segurança e de processo necessárias.

Conforme o descritivo das premissas de funcionamento do novo processo, como você está planejando fazer? Quais lógicas de programação você identificou? Preparado?

Nesta seção você estudará os conteúdos que o ajudarão na solução desse projeto, começando pela apresentação dos tipos de componentes que fazem parte do diagrama de comando, seguidos pelas funções lógicas e por importantes informações a serem observadas nas especificações técnicas desses componentes, e para finalizar serão apresentados os cálculos de dimensionamentos existentes nesse tipo de projeto, além de valiosas observações sobre instalações desses dispositivos.

Bons estudos.

Não pode faltar

Tipos de componentes eletroeletrônicos para sistema de comando e sinalização

Os dispositivos de comando e sinalização são os componentes usados no circuito elétrico para controle e atuação da carga.

Os componentes de comando de entrada são aqueles que geram um sinal quando acionados, como botões, chaves e sensores, podendo, por meio de cabos condutores, conduzir esse sinal diretamente para os componentes de comando de saída, ou atuadores, como os sinaleiros e as bobinas de contatores, ou conduzir para os componentes de controle que tratarão desse sinal e executar alguma função junto com os atuadores, por exemplo:

relés temporizadores, relés de processo (nível, temperatura, pressão) ou mesmo relés programáveis.

O Quadro 3.4 ilustra alguns dos componentes mais utilizados nos circuitos de comando e sinalização, baseado no catálogo de produtos da empresa Metaltex.

Quadro 3.4 | Dispositivos de comando usados em acionamentos elétricos

Ilustração	Informações do componente
	Botões de comando, do tipo pulsante, podem ser de corpo metálico ou de plástico, com ou sem iluminação LED. Podem ainda ser de diferentes cores para melhor organização do circuito de comando. Os contatos, NA ou NF, são blocos que podem, conforme a necessidade, se conectar uns aos outros. Por exemplo, no mesmo botão há dois contatos NA e um contato NF, de forma que, quando o botão for pressionado, os contatos conectados comutarão ao mesmo tempo.
	Chave seletora de duas ou três posições, podendo ser de acionamento fixo ou de retorno. Classificada como seletora de retorno, quando é feita a escolha para esquerda ou direta e o acionamento, ao invés de permanecer na posição escolhida, retorna para a posição central, ou posição 0. Assim como os botões de comando, há disponibilidade dos blocos de contato NA e NF.
	Botão de segurança com cabeçote tipo cogumelo, com trava e giro para destravar ou, ainda, com chave para destravar. Com a finalidade de atuar sobre cenários de emergência, são acompanhados por contatos NF, pois seu acionamento está interrompendo a corrente elétrica do circuito de comando. Porém, conforme a aplicação, os blocos NA poderão ser conectados.

	Sinaleiros para sinalização e alarme são encontrados nas tensões de alimentação CC, de 12 Vcc a 110 Vcc, e CA, de 12 Vca a 220 Vca. Os mais comuns são de apenas uma cor e deverão ser aplicados conforme as normas do projeto – na falta de recomendações, utiliza-se a NR26. Em algumas aplicações, são instalados os sinalizadores bicolores, verde com vermelho.
	Contatores para acionamento de cargas e contatores auxiliares com bobinas em tensões elétricas CA e CC. Normalmente, os contatores de cargas possuem um ou dois contatos do tipo NA e NF disponíveis para serem utilizados no circuito de comando, porém torna-se necessário utilizar mais contatos NA ou NF para o mesmo contator, assim sendo são utilizados os blocos auxiliares de até quatro opções de contatos, e seu acionamento é feito por meio do encaixe mecânico com o contator de carga. Porém, se o desejado for apenas os contatos NA e NF, são utilizados os contatores auxiliares, uma vez que possuem bobina.

Fonte: elaborado pelo autor.

Pesquise mais

Acesse o catálogo de componentes de automação da empresa Metaltex para verificar mais informações e conhecer outras soluções. Disponível em: <http://www.youblisher.com/p/1122798-Catalogo-de-automacao-2015/>. Acesso em: 30 jan. 2018.

Dados importantes para dimensionamento dos dispositivos de comando e sinalização

Componentes de comando de entrada podem ser classificados como evento discreto ou contínuo. Quando discretos, entende-se que os sinais gerados por eles são binários, ou seja, 0 ou 1, ligado

ou desligado, verdadeiro ou falso, e, quando contínuos, são aqueles que apresentam o sinal gerado variante no tempo, e com isso torna-se necessário haver algum componente de controle para tomada de ação. Por exemplo: os botões, tanto pulsantes quanto retentivos, são discretos; as chaves de comutação com N posições são discretas; sensores ópticos e chaves boia de nível também são discretos, pois há somente duas condições de respostas acerca de seu funcionamento – ou estão atuados ou não. Porém, se for utilizado um sensor de temperatura, LM 35, PT 100, etc., ou um sensor de nível por detecção de volume, pressão, etc., são de respostas contínuas variantes no tempo.

Pesquise mais

Para aprofundar mais sobre os tipos e princípios de funcionamento dos sensores industriais, recomenda-se o estudo e a leitura do livro:

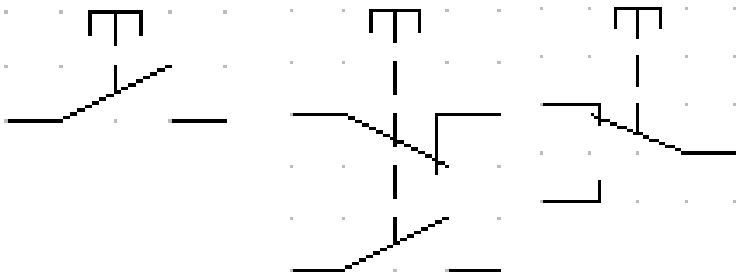
THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 8. ed. São Paulo: Erica, 2011. 224 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520261>. Acesso em: 27 nov. 2017.

Outro dado importante é sobre o tipo de contato utilizado: normalmente aberto, NA, ou normalmente fechado, NF. Esses contatos são acoplados fisicamente ao componente de entrada discreta, como botões, chaves, sensor fim de curso, etc. Eles representam o estado dos contatos quando não estão ativos. Quando ativos, pressionados ou acionados, comutam o comportamento desses contatos, saindo de normalmente aberto para fechado e vice-versa. O importante é entender que o uso do contato NF implica na condução do sinal de um ponto a outro em seu terminal e somente interromperá esse sinal quando acionado. Assim, dispositivos de segurança e proteção utilizam o contato fechado, pois dessa forma é garantido ao sistema de acionamento que somente em caso de não conformidade com o esperado esses dispositivos atuarão e comutarão os contatos.

Por último, é comum encontrar em projetos os contatos com as denominações em inglês NO (*normal open* – normalmente aberto) e NC (normal close – normalmente fechado), além de estarem categorizados em:

- SPST – *Single pole, single throw*: um polo para uma única manobra. A Figura 3.6(a) ilustra esse tipo de contato.
- DPST – *Double pole, single throw*: dois polos para uma única manobra. A Figura 3.6(b) ilustra esse modelo.
- SPDT – *Single pole, double throw*: um polo para uma dupla manobra. A Figura 3.6(c) ilustra esse contato.

Figura 3.6 | Blocos de contato SPST (a), DPST (b) e SPDT (c)

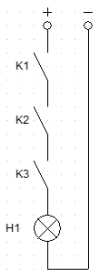


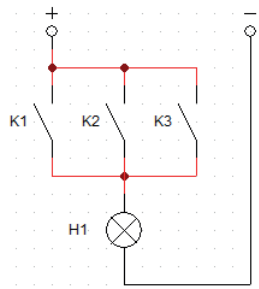
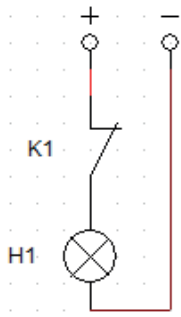
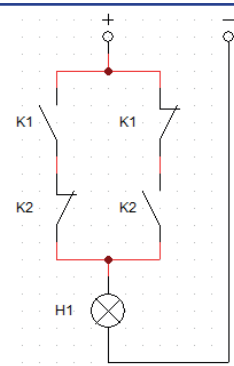
Fonte: elaborada pelo autor.

Assimile

Os contatos NA e NF podem ser combinados e associados de forma a se obter lógicas de funcionamento análogas às portas lógicas utilizadas em projetos eletrônicos bem como no algoritmo desenvolvido na linguagem de programação Ladder para CLP. O Quadro 3.5 relaciona algumas dessas lógicas com os contatos NA e NF utilizados nos circuitos de comando dos acionamentos de motores.

Quadro 3.5 | Lógica de acionamento

Função Lógica	Acionamento elétrico
E (*and*): similar ao circuito em série, em que para o sinal chegar na carga deverá passar por todos os contatos na linha. No exemplo, para a lâmpada ser energizada os contatos K1, K2 e K3 deverão estar acionados, comutando de NA para fechados. Simbolizado com o "E" e pelo "•": $(K1 \cdot K2 \cdot K3)$.	

OU (*or*): similar ao circuito em paralelo, permite mais de uma passagem do sinal por meio dos contatos em direção à carga. Comprovando esse princípio de funcionamento, perceba no exemplo que, para a lâmpada acender, qualquer um dos contatos deverá ser acionado, comutando de NA para fechado. Simbolizado com o "OU" e pelo "+": $(K1+K2+K3)$.	
Inversora (*not*): o conceito da função inversora é que o contato utilizado é NF e dessa forma, sem o acionamento dele, a carga será energizada, e com o acionamento do contato, a carga será desenergizada, comutando de NF para aberto, conforme exemplo. Comumente, utilizamos um traço superior para indicar a inversão do sinal, ou seja, fechado, por exemplo: $\overline{K1}$.	
Ou exclusiva (*XOR*): conhecido em instalações prediais como acionamento paralelo ou *three way*, pois o acionamento acontece somente com um dos contatos acionados, ou dois acionados juntos. A lâmpada não é energizada devido ao intertravamento feito. Pode ser simbolizado como: $\left(\left(\overline{K1}\cdot K2\right)+\left(K1\cdot\overline{K2}\right)\right)$ ou ainda, tendo o sinal de + dentro do círculo, $(K1\oplus K2)$.	

Fonte: elaborado pelo autor.

Componentes de comando de saída são facilmente identificados, devido à ação por eles executada nos momentos em que são energizados ou que recebem um sinal de comando. Alguns desses componentes não conseguem operar em proporcionalidade ao sinal de entrada. Nos casos de evento contínuo variante no tempo, por exemplo, os contatores funcionam somente em dois estados,

ligado ou desligado, energizado ou desenergizado. Não existe a possibilidade de se obter 20% ou 60% de seu funcionamento e consequentemente regular o motor para uma velocidade maior ou menor. Para isso seria necessário o uso de uma chave de partida eletrônica ou de um conversor de frequência ou, ainda, usar de dispositivos de interface, telas de interface homem-máquina (IHM), displays analógicos ou digitais, a fim de monitorar as grandezas elétricas e o comportamento do circuito.

Dimensionamento dos dispositivos de comando e sinalização

O dimensionamento do circuito de comando envolve a corrente necessária para o acionamento dos componentes de comando de saída, pois os motores serão acionados por meio de circuitos de potência ou de carga. Como já mencionado, esses componentes de saída poderão ser as bobinas dos contatores, sinaleiros, sirenes, displays, circuitos eletrônicos dos controladores ou relés. Por meio desse levantamento, será possível identificar a corrente elétrica que irá fluir entre os componentes de comando, podendo dessa forma dimensioná-los, bem como dimensionar a fonte de tensão e o dispositivo de proteção do circuito.

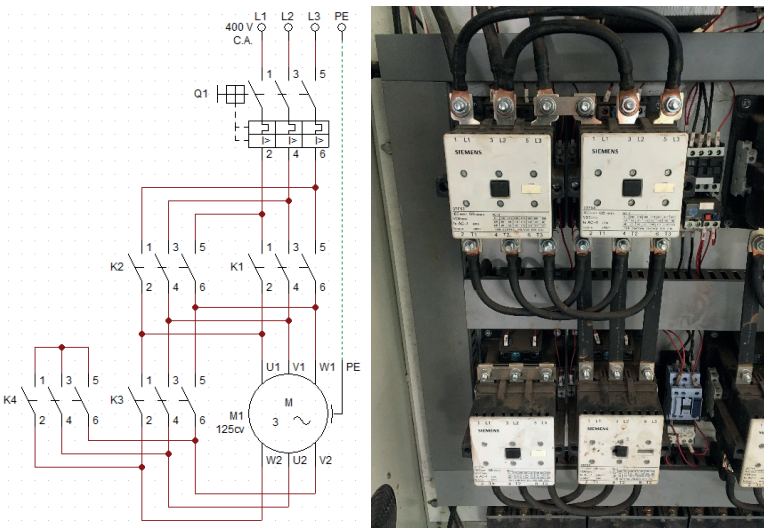
Um erro comum, resultante da negligência dessa análise, ocasiona na perda da fonte de alimentação do circuito de comando devido a sua limitação de potência e ao disjuntor com valor superior ao da corrente de projeto. O mesmo cuidado que se tem no dimensionamento do circuito de carga deverá haver com o circuito de comando.

Uma prática comum e importante nos dimensionamentos dos componentes é considerar uma faixa de segurança, entre 10% e 25%, evitando que o circuito trabalhe muito próximo dos valores nominais, o que em uma condição anormal poderia danificá-los ou paralisar o funcionamento do motor. Essa mesma faixa percentual é utilizada nos projetos elétricos de carga, projetos de painéis elétricos, projetos de automação, entre outros.

Exemplificando

Depois de desenvolvido o projeto do circuito de carga para acionamento por partida estrela-triângulo com reversão de um motor elétrico trifásico de 125 cv ligado em 400 V, é necessário elaborar o projeto de comando e dimensionar os componentes desse circuito. A Figura 3.7(a) ilustra o projeto do circuito de carga desenvolvido e a (b), o respectivo circuito montado. Para atender a norma NR12, que recomenda uma extra baixa tensão no circuito de comando, até 25 V em corrente alternada ou 60 V em corrente contínua, houve uma verificação inicial, tanto no almoxarife da empresa como nas empresas que comercializam material elétrico, e estabeleceu-se uma fonte de corrente contínua de 24 V, cuja entrada de alimentação poderá ser de 400 V alternado.

Figura 3.7 | Diagrama de carga partida Y-Δ com reversão (a) e projeto montado (b)

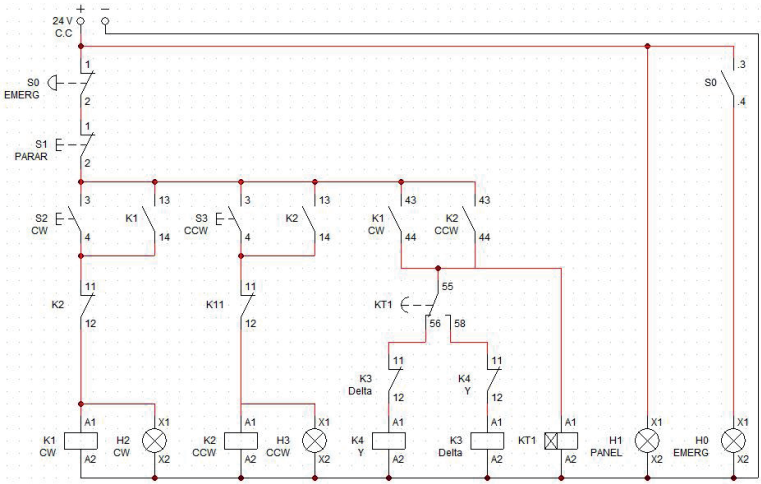


(a) (b)

Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 3.8 ilustra o diagrama de comando para essa aplicação.

Figura 3.8 | Diagrama de comando Y-Δ com reversão



Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando os dados técnicos dos contatores, a bobina alimentada em 24 Vcc possui um consumo de 12 W e os sinaleiros utilizados, de 20 mA. Ao todo serão dois contatores acionados por vez, no máximo quatro sinaleiros e o relé temporizador de 70 mA de consumo máximo, conforme catálogo de fabricantes. Desta forma temos um total de 1,15 A. Grande parte dos componentes de entrada, botões, etc. suportam manobrar até 10 A. Com relação à fonte de alimentação, é recomendável, por boas práticas, o uso de fontes chaveadas, por possuírem um circuito eletrônico confiável e estável – neste caso, uma fonte de 1,15 A ou maior. Não devemos nos esquecer de que o disjuntor deverá proteger todo o circuito, incluído fonte, condutores e componentes.

Instalação dos dispositivos de comando e sinalização

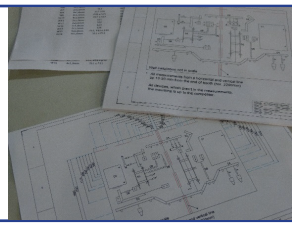
Não só para o circuito de comando, mas também para o de carga, existem algumas recomendações importantes para que o projeto seja um sucesso.

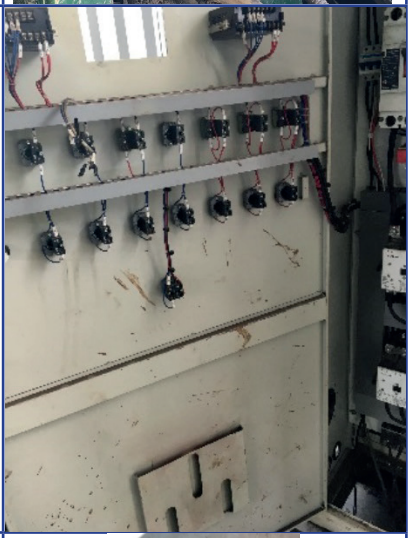
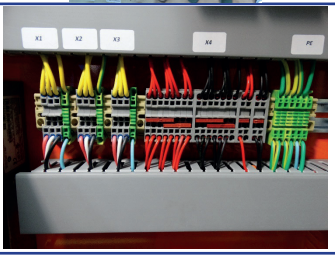
Além dos cálculos de dimensionamento dos contatores, condutores, disjuntores, relés de sobrecarga e fusíveis, como visto na Seção 3.1, consideramos as cargas do circuito de comando para dimensionar a fonte de alimentação e o disjuntor de proteção desse circuito. Conforme a demanda de funcionamento, é necessário elaborar uma lógica de funcionamento e, sempre que possível, verificar

no mercado se não há ferramentas de simulação para melhorar cada vez mais os projetos e as soluções que você irá desenvolver.

Além disto, na montagem do acionamento, temos que atentar a outros pontos, como evitar ligações erradas por não seguir um diagrama, conectar os cabos errados e deixar más conexões. O Quadro 3.6 apresenta algumas boas práticas que você poderá atribuir em suas atividades profissionais e que o ajudará a obter melhor performance.

Quadro 3.6 | Boas práticas profissionais: instalações elétricas industriais

Tópicos	Ilustrações
Além da separação dos cabos na badeja, por aplicação, deve-se realizar o aterramento das partes metálicas que compõem a instalação, aferindo uma resistência de aterramento menor que 10Ω. Para cabos de comunicação, utilizar modelos de categoria 5 ou 6 para cabos de controle, usar blindados ou com malha interna e, em ambos os casos, manter o sinal sem interferências da rede CA ou de outras perturbações próximas.	
Usar o projeto impresso e siga-lo conforme sua complexidade, fazendo suas anotações de rodapé e realizando marcações de avanço, conforme as partes do projeto já montado.	
Manter arquivo de dados de máquinas e equipamentos e, quando possível, arquivar os manuais ou digitalizá-los, evitando dessa forma a perda de informações importantes com a depreciação do equipamento.	

Proteger o motor com carenagens, aumentando sua vida útil, garantir o correto funcionamento do processo, evitar paradas desnecessárias e proteger a integridade física de quem atua nas proximidades, direta ou indiretamente.	
Manter um projeto impresso no painel e outro em uma pasta no setor de manutenção e, se possível, em meio digital. Cuidar da limpeza periódica dos componentes internos do painel e, quando necessário, fazer novas identificações dos cabos. Sempre que modificado algum circuito ou implantadas novas funções no circuito de controle, fazer atualização do projeto e conferir o dimensionamento da carga até a fonte de alimentação.	
Identificar os componentes internos – o chassi do painel – e externos – na porta –, facilitando a monitoração e o controle.	
Utilizar bornes para conexão das ligações entre os componentes internos do painel com os componentes externos, facilitando as medições, a manutenção e as futuras mudanças de fixação.	

Fonte: adaptado de Guimarães (2017, [s.p.]).

Reflita

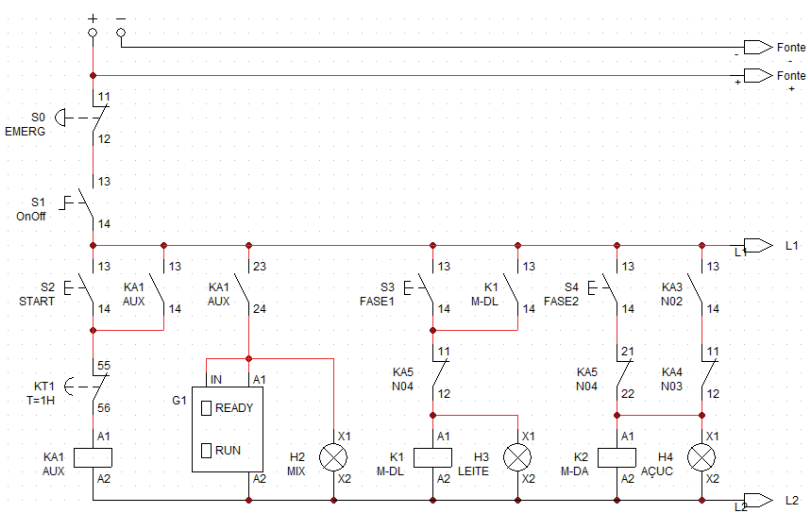
Quais lições aprendidas, relatos de resultados e desafios de experiências próprias e de observação a outros profissionais você anotou e arquivou como sendo seu diário de bordo ou seu guia de aprendizado?

Sem medo de errar

Retornando ao projeto da empresa Quero Doce Ltda., você foi solicitado para projetar o novo circuito de comando, com a finalidade de automatizar o processo de fabricação do doce de leite conforme as seguintes premissas:

- Ao iniciar o processo por meio do botão pulsante, NA, "Start", o motor principal, acionado pela *soft-starter* G1, misturador, é iniciado. A Figura 3.10 ilustra essa parte do diagrama.
- Quando o botão pulsante, NA, "Fase1", for pressionado, o motor trifásico de $\frac{1}{4}$ cv é acionado por partida direta para dosagem do leite, M-DL. A Figura 3.9 ilustra essa parte do diagrama.

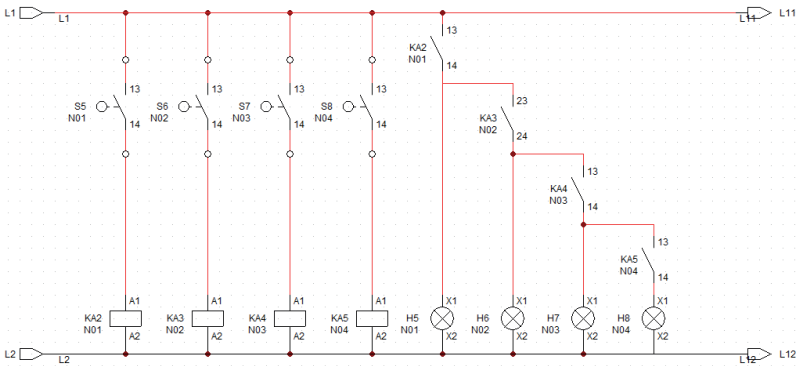
Figura 3.9 | Diagrama de comando parte 1 – Fabricação de doce de leite



Fonte: elaborada pelo autor.

- No tanque de mistura foram instalados quatro sensores de nível – N01, N02, N03, N04 – e, a cada nível alcançado, um sinalizador luminoso é ligado no painel para indicar o nível atual. A Figura 3.10 ilustra essa parte do diagrama.

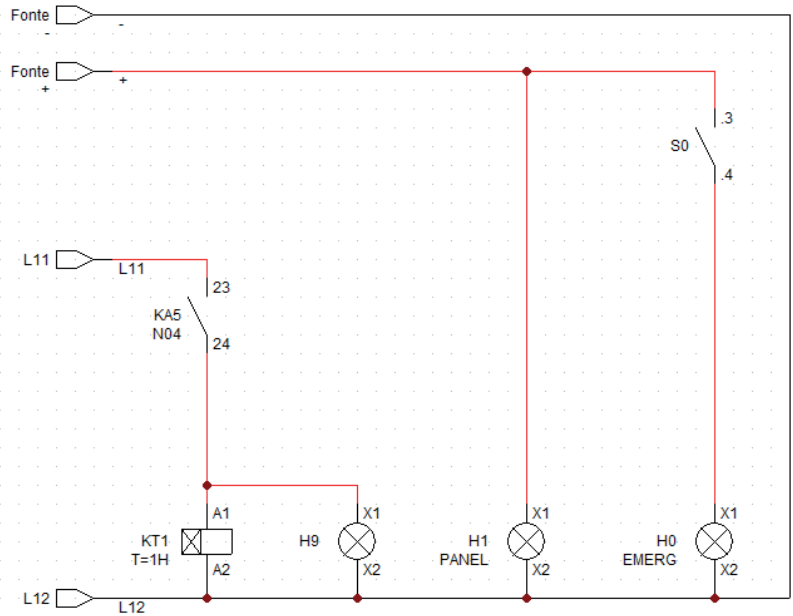
Figura 3.10 | Diagrama de comando parte 2 – Fabricação de doce de leite



Fonte: elaborada pelo autor.

- Quando o nível dois, N02, for alcançado, outro motor trifásico de $\frac{1}{4}$ cv é acionado por partida direta para dosagem do açúcar, M-DA. A Figura 3.9 ilustra essa parte do diagrama.
- A dosagem do açúcar para ao chegar ao nível três, N03.
- Essa dosagem poderá ser acionada de forma manual pelo botão pulsante, NA, "Fase2", a qualquer momento até alcançar o nível quatro, N04. A Figura 3.9 ilustra essa parte do diagrama.
- Quando o nível quatro, N04, for alcançado, a dosagem do leite é interrompida.
- Após chegar no nível quatro, o processo se manterá em mistura e aquecimento durante um tempo de uma hora, KT1, e só então todo o processo é paralisado. A Figura 3.11 ilustra essa parte no diagrama e o contato do temporizador, NF, encontra-se na linha de acionamento do KA1, Figura 3.9.

Figura 3.11 | Diagrama de comando parte 3 – Fabricação de doce de leite



Fonte: elaborada pelo autor.

- Outra forma de parar o processo é pelo acionamento da chave S1 - *OnOff*, cujo modelo é de duas posições, 0º - 90º, NA.
- Devem ser previstas as demais sinalizações luminosas de segurança, H0, de processo final, H9, e painel energizado, H1.

Observando as premissas do projeto, perceba que foram utilizadas estruturas lógicas E e OU.

Avançando na prática

Acionamento do motor elétrico em multipontos

Descrição da situação-problema

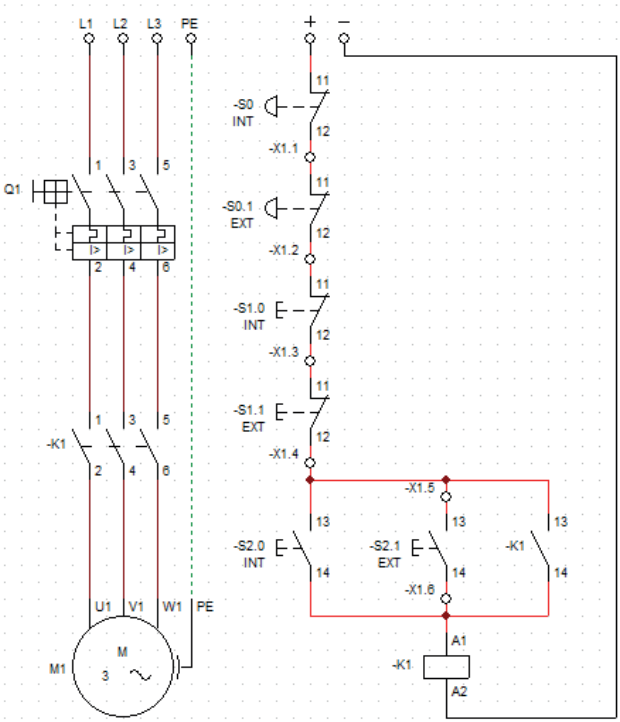
A empresa de sucata EcoLimp Eireli possui uma esteira de 6 m de extensão e, quando ocorre algum problema na produção, o responsável pelo turno tem que se deslocar até o painel para desligar a esteira. Com a finalidade de resolver esse problema, ele sugeriu o desenvolvimento de um novo painel com os comandos de ligar e desligar a esteira, porém gostaria de manter também o comando no

painel atual. Para solucionar essa demanda de forma otimizada, a empresa contratou você para propor um projeto.

Resolução da situação-problema

A solução ideal é a instalação de botões pulsantes, sendo dois com contato NF, instalados em lógica E, série, para desenergizar a bobina que faz a partida do motor, e outros dois com contato NA, ligados em lógica OU, paralelo, para energizar a bobina do contator e, então, dar partida no motor. Para tornar mais otimizado, serão instalados em uma caixa somente os botões de liga e desliga com as devidas sinalizações, mantendo no painel principal os disjuntores e contatores. Como boa prática, será necessária a instalação dos cabos de controle separados no perfil, para evitar qualquer interferência no comando. A Figura 3.12 ilustra a solução com os comandos da caixa externa por meio dos bornes de conexão.

Figura 3.12 | Diagrama elétrico para acionamento do motor em multipontos



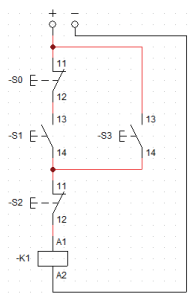
Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

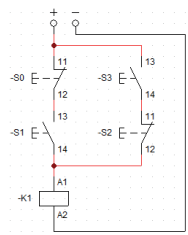
1. A empresa CasaCor comprou uma máquina de pintura para agilizar o processo atual, porém ela veio com o painel de comando desmontado e no manual havia instruções sobre o modelo de circuito para cada tipo de aplicação. Após analisar o que seria mais adequado ao serviço, o dono da empresa contratou um eletricista para montar o circuito de comando.

Qual das alternativas a seguir corresponde ao circuito de comando para a lógica $\left(\overline{S0}\ E\ (S1\ OU\ S3)\ E\ \overline{S2}\right)$ que aciona K1? Considere que $\overline{S0}$ e $\overline{S2}$ são contatos NF e que S1 e S3 são contatos NA.

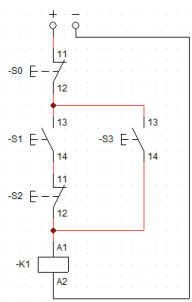
a)



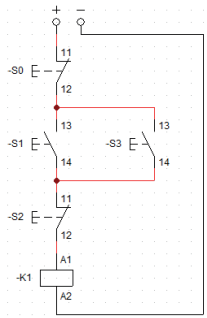
b)



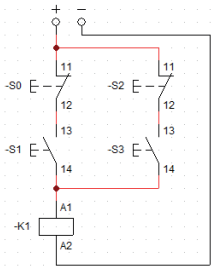
c)



d)

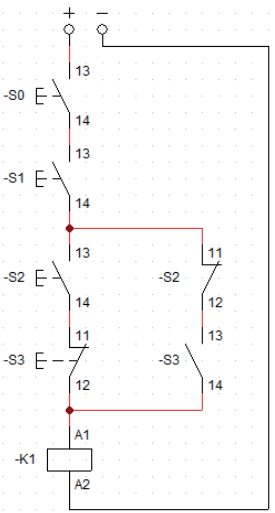


e)



2. Em um teste de conhecimento específico sobre acionamentos de motores elétricos, foi dado um diagrama elétrico, figura a seguir, e foi solicitada uma explicação do funcionamento por meio dos termos de lógica E, OU e Ou exclusiva.

Figura | Diagrama de comando



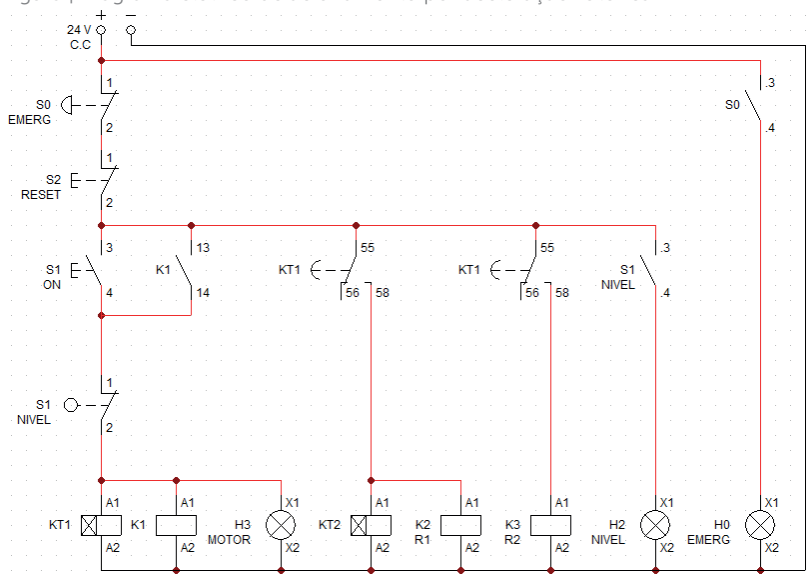
Fonte: elaborada pelo autor.

Marque a alternativa que melhor representa a lógica de funcionamento do diagrama ilustrado na figura, lembrando que para os contatos fechados é utilizado o traço superior no termo. Por exemplo: S2 fechado é o mesmo que $\overline{S2}$.

a) S0 E S1 E, S2 OU $\overline{S2}$ E, $\overline{S3}$ OU S3 aciona K1.
b) S0 E S1 E, S2 OU exclusiva S3 aciona K1.
c) S0 E, S1 Ou exclusiva S2, E $\overline{S3}$, OU $\overline{S2}$ E S3 aciona K1.
d) S0 E S1 E S2 E $\overline{S3}$ OU, $\overline{S2}$ E S3 aciona K1.
e) S0 E S1 OU, S2 E $\overline{S3}$ OU, $\overline{S2}$ E S3 aciona K1.

3. Depois de finalizado o projeto da figura a seguir para acionamento de partida por aceleração rotórica, é necessário determinar a corrente da fonte de 24 V CC para que possa operar em uma tolerância de segurança de 25% superior.

Figura | Diagrama elétrico de acionamento por aceleração rotórica



Fonte: elaborada pelo autor.

Sabendo que cada contator consome 40 mW, os relés consomem metade do que os contatores e os sinaleiros, 20 mA, marque a alternativa que apresenta o valor da fonte de alimentação dentro da tolerância solicitada.

a) Fonte de 16,67 mA.
b) Fonte de 66,67 mA.
c) Fonte de 83,34 mA.
d) Fonte de 67,5 mA.
e) Fonte de 84,37 mA.

Seção 3.3

Projetos de acionamentos de motores elétricos

Diálogo aberto

Prezado aluno, quão valioso tem sido seu progresso nos estudos e aplicações sobre acionamentos de motores elétricos? Em cada unidade você está tendo a oportunidade de aprender, de forma gradual, conceitos e metodologias sobre projetos dos acionamentos, mesmo assim é recomendável que se empenhe e ponha em prática cada informação adquirida.

Depois de estudarmos as seções sobre dimensionamento do circuito de carga e comando, agora o estudo será sobre as fases de projetos, manutenções e algumas recomendações que poderão elevar seu nível profissional, pois são boas práticas exercidas por empresas e profissionais experientes no mercado.

Como forma de padronização, o gerente da empresa Quero Doce Ltda., onde você está atuando como técnico, sugeriu uma estrutura para todos os projetos da empresa. Para os projetos de acionamentos, a estrutura seria:

- Diagrama de carga.
- Diagrama de comando.
- Fluxograma de funcionamento.
- Sinótico do processo.
- Memorial de cálculo.
- Lista de componentes e dispositivos.
- Checklist para manutenção preventiva.

Após apresentar a estrutura por setor da empresa, o gerente questiona o que você achou dessa estrutura de projetos? Como poderia contribuir com a empresa? Quais ferramentas de trabalho seriam necessárias para o desenvolvimento do projeto nos pontos sugeridos?

Em cada tema da seção você estudará os conteúdos que o ajudarão no entendimento dessas demandas, começando pela

análise de desenvolvimento de projetos, um resumo do processo de elaboração dos acionamentos, seguido pelo detalhamento de cada tarefa a ser desenvolvida no projeto. Tendo esses passos concluídos, o tema seguinte aborda as boas práticas profissionais, que auxiliam na tarefa de montagem de painéis com o comissionamento e a parametrização dos componentes, e a unidade de estudo é concluída com o roteiro de testes de desempenho e análise de defeitos nos acionamentos projetados.

Bons estudos.

Não pode faltar

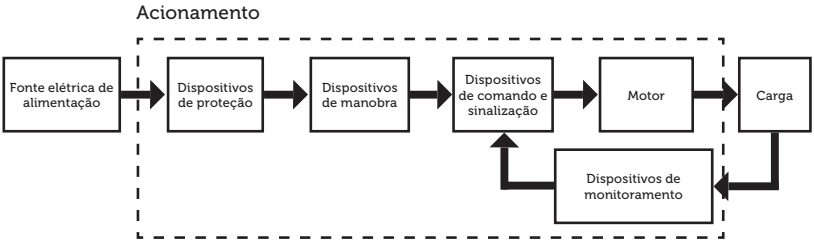
Análise inicial para projetos de acionamentos elétricos

A concepção de novos projetos de acionamentos parte das necessidades de melhorias ou de novas demandas. As manutenções em circuitos de acionamentos de motores elétricos, quando previstas, tendem a prolongar a vida útil dos componentes e equipamentos associados nesses circuitos. Quando de caráter corretivo, acabam causando perdas que vão de pequeno impacto, como a substituição de simples componentes, até perdas de alto impacto, como o tempo de produção parada, gastos não previstos, segurança física das pessoas, fazendo-se necessário ainda, a depender da dimensão do problema, contratação de mão de obra especializada.

Percebam que, como já mencionado em seções anteriores, um bom projeto não visa somente a simples junção dos componentes; são necessários os corretos dimensionamentos, análise das condições de acionamentos, especificações corretas dos dispositivos, plano de manutenção com checklist de ações, descritivo ou fluxograma de funcionamento e diagramas elétricos atualizados.

Na Figura 3.13 são apresentados os blocos representativos por cada parte de um circuito de acionamentos. Desta forma iremos relembrar itens já estudados e complementá-los com mais informações.

Figura 3.13 | Diagrama de projetos para acionamentos



Fonte: elaborada pelo autor.

Independentemente do tipo de acionamento a ser desenvolvido, por meio da Figura 3.13 estabelecemos um norte. Por exemplo: suponha-se que é desejada a construção de uma partida em estrela-triângulo para o motor de indução trifásico de 125 cv, acoplado por polias e correias em um equipamento de trituração. Apenas com essas informações não é possível desenvolver todas as partes do projeto, porém com a sequência recomendada na Figura 3.13 tem-se:

- Fonte de alimentação: conforme valor de tensão elétrica nominal de ligação do motor.
- Dispositivos de proteção: por se tratar de uma carga indutiva, o disjuntor deverá ser de curva D, com projeção para curto-circuito e sobrecarga, ou seja, termomagnético. Por exemplo: o disjuntor motor que engloba tais proteções. Caso for utilizar o conjunto fusíveis, disjuntor e relé de sobrecarga, os mais recomendados são os fusíveis do tipo aM, disjuntores magnéticos de curva D e os relés de sobrecarga ou térmicos cuja faixa de operação possua o valor de corrente nominal do motor elétrico.
- Dispositivos de manobra: são os contatores que farão comutação dos contatos de potência para controlar o motor e a interface com o diagrama de comando, bobina de acionamento. Em ambos os casos, são necessários os dimensionamentos por corrente elétrica de operação, regime de trabalho, número de partidas por minuto e disponibilidade de contatos NA ou NF para o circuito de comando.
- Dispositivos de comando e sinalização: compostos pelos componentes, que quando juntos irão desenvolver a lógica de funcionamento do projeto. São os botões, as chaves seletoras, os temporizadores, as bobinas dos contatores, os sinaleiros, os sensores, os relés de comando e outros mais específicos. Aqui

cabe lembrar que o dimensionamento principal é para determinar a corrente da fonte de alimentação do circuito de comando, seja em corrente contínua ou alternada. Podem ainda integrar-se no projeto de comando os disjuntores com curva C para proteção ou os fusíveis aG, aTr, caso a fonte de alimentação seja um transformador, ou aR para fontes retificadoras.

- Dispositivos de monitoramento: a pergunta que deve ser feita é: quais parâmetros da carga ou do motor são necessários medir e supervisionar? Dessa forma, fica mais fácil relacionar que tipo de resposta desejamos desse bloco para relacionar com os demais. Podem ser utilizados sensores de nível, sensores de toque, sensores de temperatura, etc.
- Motor e carga: apesar de constarem como os blocos finais na Figura 3.13, todo o projeto parte da análise da aplicação e dos dados técnicos do motor e da carga. Nada adiantaria, por exemplo, definir como fonte de alimentação 380 V trifásico, quando o motor possui disponível apenas ligação em 220 V trifásico, ou especificar um disjuntor de 80 A, se para o motor são necessários 170 A.

Caso a demanda tenha um descritivo ou fluxograma de funcionamento, é possível melhorar as especificações em cada bloco de projeto.

Desenvolvimento do projeto de acionamento de motores elétricos

Quando se tem a oportunidade de visitar ou estar no local onde será instalado o painel com o acionamento a ser desenvolvido, é possível coletar informações que possibilitam prever o que poderá prejudicar o funcionamento do projeto. Quando não há tal possibilidade, devemos adotar algumas medidas de segurança, a fim de garantir o correto funcionamento, tais como utilizar um fator de serviço maior, usar uma tolerância maior nas considerações finais dos cálculos, prever futuras implementações no painel e deixar um espaço reservado, etc.

Como mostrado na Figura 3.13, quanto mais se tem detalhes da aplicação, maiores serão a facilidade e a confiabilidade no desenvolvimento dos cálculos e na elaboração dos circuitos elétricos de carga e comando. Grande parte das demandas é apresentada por um descritivo de funcionamento ou desenho sinótico, por meio dos quais é

possível desenvolver o projeto ou dar manutenção. Neste sentido, uma boa prática ao entregar um projeto é fornecer as folhas com o desenho representativo do processo e um fluxograma de funcionamento. O descritivo pode causar má interpretação ou ser questionável quanto aos pontos subentendidos. O mesmo acontece em atividades de manutenção, nos casos em que o painel de acionamentos possua um projeto incompleto ou desatualizado. As boas práticas recomendam a atualização das folhas de projetos e o desenvolvimento das partes não presentes, como o fluxograma ou sinótico. No caso do desenho representativo do processo, ou conhecido como sinótico, muitos são utilizados em portas de painel ou bancadas de controle, onde são impressos e plotados, ou ainda utilizados em sistemas supervisórios para controle e monitoração do processo por computadores ou nas interfaces homem-máquina (IHM). A Figura 3.14 ilustra os sinóticos aplicados tanto em painéis como em sistemas supervisórios.

Figura 3.14 | Sinótico plotado em painel para controle de processo em silos de grãos

Fonte: acervo do autor.

Os cálculos desenvolvidos também deverão compor o projeto a ser entregue, podendo ser utilizada uma tabela apresentando em cada linha o componente, com os valores e as fórmulas aplicadas, ou uma folha com os cálculos separados por tipo de dispositivo.

Os diagramas elétricos deverão ser feitos em ferramentas CAD específicas, como o CADSIMU, já citado neste livro por ser uma ferramenta gratuita e que permite a simulação, porém existem várias outras ferramentas não gratuitas que apresentam diversas vantagens, como o Autodesk Eletrical, Eplan, E3 serie, etc.

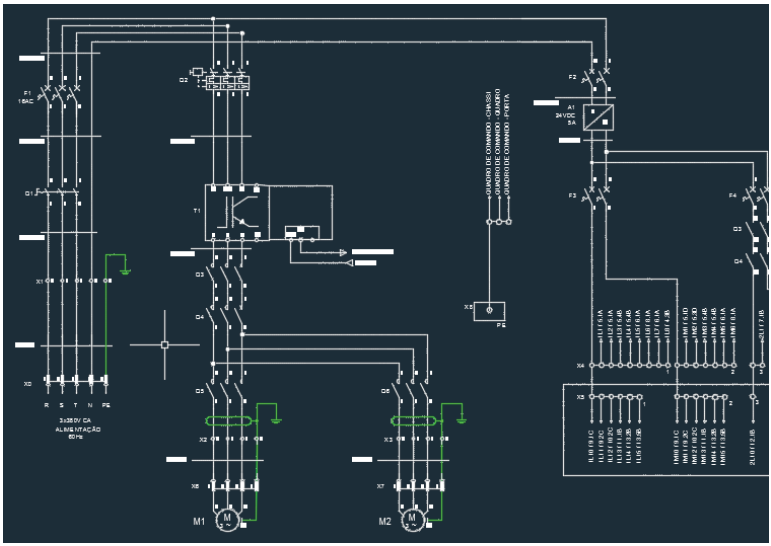
Exemplificando

O responsável pelo setor de eletroeletrônica da empresa Mix Misturas, além de coordenar a equipe de manutenção, desenvolve os projetos de acionamentos para que os eletricistas possam montar os circuitos. Anteriormente os projetos eram feitos na mão e, apesar do capricho e da limpeza, ocupavam grande parte do seu dia, e as listas de materiais para aquisição ou separação eram feitas por um estagiário. Com o projeto em mãos e a lista de materiais, ainda era necessário explicar aos eletricistas o funcionamento para que pudessem testar o circuito depois de pronto. Contudo, o volume de demanda de projetos, sejam de novas implantações ou de atualização, estava se tornando inviável às demais atribuições. Com a contratação de um novo funcionário, um técnico recém-formado, foram trazidas ideias valiosas que agilizaram o desenvolvimento de projetos, a separação de materiais e a interpretação do funcionamento por parte dos eletricistas montadores dos painéis. Devido ao baixo orçamento para investimento nessas ferramentas, as sugestões aprovadas foram:

- Implantação de um software CAD que permitisse desenvolver as simbologias dos componentes e dispositivos elétricos dos acionamentos, o que tornava mais simples as possíveis correções e revisões e o alinhamento dos componentes nos diagramas. A Figura 3.15(a) ilustra uma folha de projeto criado por um software CAD com o uso de bibliotecas desenvolvidas pelo autor.

- Elaboração de formulários checklist para comissionamento dos componentes, testes de energização, teste de funcionamento e procedimento de manutenção A Figura 3.15(b) ilustra um exemplo de checklist para teste de energização.

Figura 3.15 | Exemplo de projeto feito em software CAD (a) e checklist para comissionamento (b)



(a)

FICHA DE COMISSIONAMENTO

Responsável: ..... / Data: .....

2.4. MEDIDAS DE TENSÃO ELÉTRICA:

L1-X1	---	PE-X1	 V
L2-X1	---	PE-X1	 V
L3-X1	---	PE-X1	 V
L1-X1	---	L2-X1	 V
L1-X1	---	L3-X1	 V
L2-X1	---	L3-X1	 V

2.5. VERIFICAÇÃO DO SENTIDO DE ROTAÇÃO DAS FASES – X1:

□Rotação para esquerda (CCW)	□ Rotação para direita (CW)

2.6. FUNCIONAMENTO DO BOTÃO DE EMERGÊNCIA:

□Funcionando	□Não funcionando

(b)

Fonte: elaborada pelo autor.

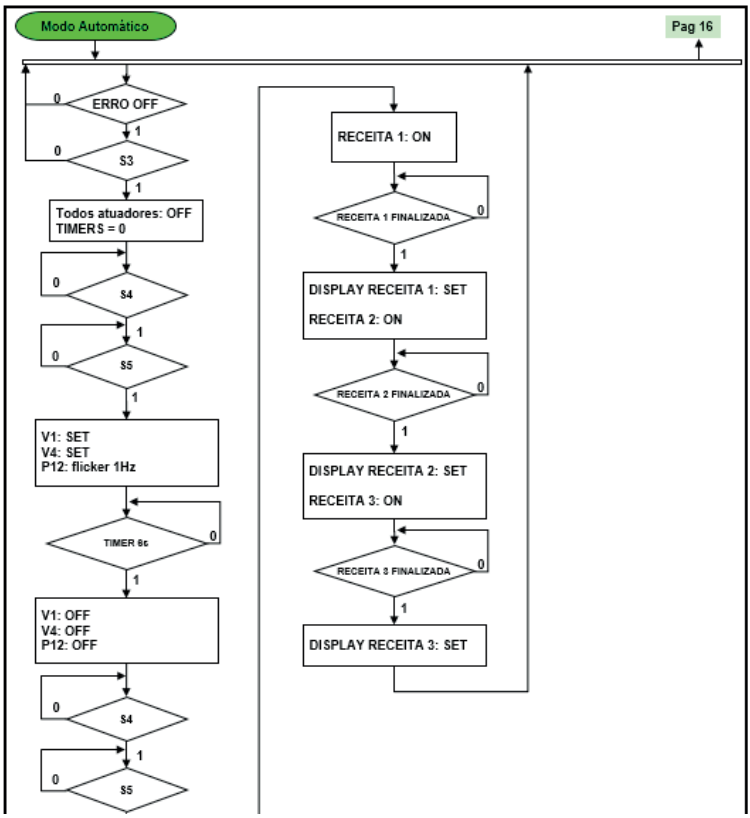
• Padronização do modelo das listas de matérias com as mesmas identificações cadastradas no sistema de compra e fotos ilustrativas para auxiliar o comprador. A Figura 3.16(a) ilustra um exemplo de lista de materiais.

• Desenvolvimento de fluxogramas de funcionamento para cada projeto, a fim de facilitar a interpretação pelos eletricistas. Devem ser arquivados junto aos diagramas elétricos para uso futuro. A Figura 3.16(b) ilustra um exemplo de fluxograma de funcionamento.

Figura 3.16 | Exemplo de lista de materiais (a) e fluxograma de funcionamento (b)

Item	Unid.	Quantidades por projeto	Descrição	Imagem	Referência de projeto
1	PÇ	1	botão de soco (cogumelo) com trava, plástico ø 22 mm, vermelho, 1na+1nf		S1
2	PÇ	1	chave seccionadora rotativa tripolar 16 a, 4 polos, 7,5 kw = 400 v, montagem frontal		Q1
3	PÇ	2	tomada industrial, contatos de latão, tipo fêmea, de sobrepor, 400 v, 16 a, 4 pólos		X2, X3
4	PÇ	3	plugue industrial, contatos de latão, tipo macho, 400 v, 16 a, 4 pólos		X0, X6, X7
5	PÇ	1	barra de equipotencialização; 16 mm²		X8
6	PÇ	2	potenciometro 10 kohm linear – 10 voltas		R1, R2
7	PÇ	80	borne de passagem, conexão mola, andar simples, fixação din 35, cinza 2,5 mm²		
8	PÇ	25	borne de passagem, conexão mola, andar simples, fixação din 35, terra 2,5 mm²		

(a)



(b)

Fonte: elaborada pelo autor.

Pesquise mais

Atualmente as empresas buscam por soluções cada vez mais eficientes e que automatizam seus processos e rotinas. Até mesmo os profissionais que atuam com manutenções e desenvolvimento de projetos almejam por tais soluções, e no mercado existem diversos desenvolvedores de softwares.

Como exemplo dessas ferramentas, tem-se a seguir os links de dois vídeos: um sobre a ferramenta de projeto de acionamentos elétricos desenvolvida pela empresa E3 serie e o outro sobre a ferramenta de gerenciamento de manutenção desenvolvido pela empresa Engeman.

E^3 panel. Disponível em: <https://youtu.be/zPCuaBTWZSI>. Acesso em: 1 fev. 2018.

Engeman: software de manutenção. Disponível em: <https://youtu.be/LTXl-M0hZEg>. Acesso em: 1 fev. 2018.

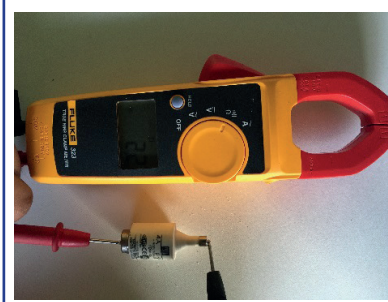
Comissionamento e parametrização dos componentes e dispositivos de acionamentos

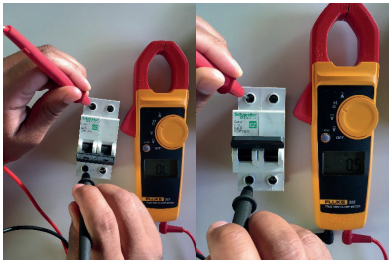
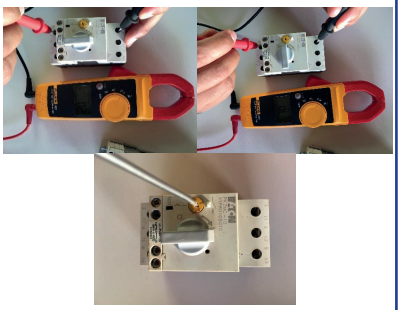
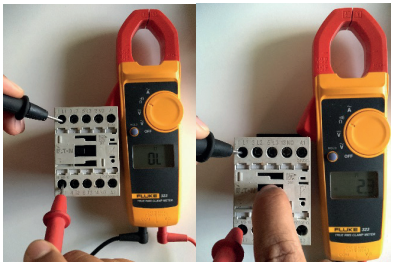
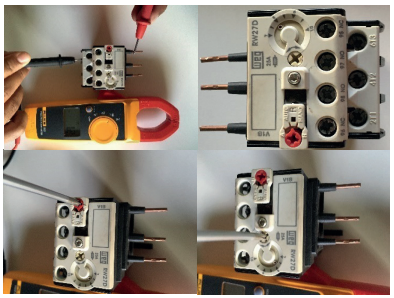
Testar o funcionamento de cada componente e dispositivo, antes mesmo da montagem do circuito elétrico do acionamento, tem as vantagens de:

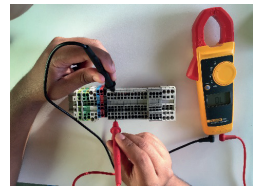
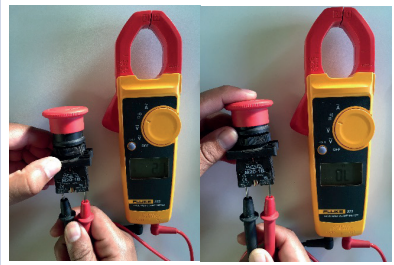
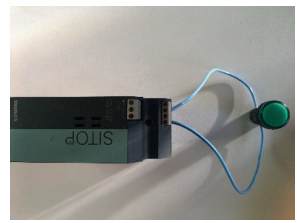
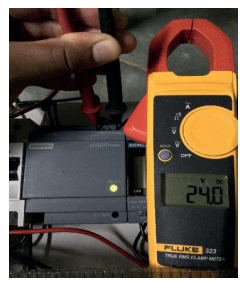
- Evitar perda de tempo, caso aconteça algum problema de funcionamento, na busca por possíveis erros nos componentes e dispositivos.
- Garantir o funcionamento dos componentes e, caso não estejam funcionando, facilitar a troca ou substituição, uma vez que não estão instalados.
- Transmitir seriedade nos processos executados.

Como desvantagem, pode-se destacar o tempo desempenhado para esses testes e preenchimento de algum termo de aceite ou checklist de comissionamento, caso seja necessário.

Quadro 3.7 | Procedimentos para comissionamento e parametrização dos componentes de acionamentos

Procedimento	Ilustração
Fusível: por meio de um equipamento de medição de continuidade ou resistência, ohmímetro ou multímetro nas referidas escalas, é possível verificar se o elemento fusível está rompido ou não. Além disso, conferir se os dados do componente estão de acordo com o projeto.	

Disjuntor magnético e termomagnético: recorrendo a um ohmímetro ou multímetro nas escalas de resistências e/ou continuidade, é possível verificar se há comutação dos contatos quando acionamos a alavanca. Deve-se verificar se a corrente de trabalho, curva de acionamento e corrente de curto estão de acordo com o projeto.	
Disjuntor motor: idem ao disjuntor magnético e termomagnético, com a diferença de que permite o ajuste da corrente de operação com relação à corrente nominal do motor elétrico.	
Contator: por meio de um ohmímetro ou multímetro nas escalas de resistências e/ou continuidade, é possível verificar se há comutação dos contatos de carga e contatos de comando quando é forçado seu acionamento. Verificar se a corrente de trabalho está em conformidade com o projeto.	
Relé de sobrecarga: idem ao disjuntor motor, porém, além do ajuste da corrente de operação, ajustamos o modo de operação entre manual e automático. Também é necessário verificar se os contatos de comando estão comutando.	

Bornes de conexão: por meio de um ohmímetro ou multímetro nas escalas de resistências e/ou continuidade, é possível verificar se está rompido.	
Botões e chaves seletoras: independentemente do tipo de contato, é necessário verificar se estão comutando quando acionados e, igualmente aos demais testes de comissionamentos, utilizar o ohmímetro ou o multímetro nas escalas de resistências e/ou continuidade para tais verificações.	
Sinaleiros luminosos e sonoros: para verificar o real funcionamento, é importante a energização destes componentes conforme a tensão elétrica informada neles.	
As fontes de alimentação só poderão ser testadas quando energizadas, sem nenhuma carga acoplada aos terminais, pois poderá estar desregulada, danificando-os. Com o voltímetro ou o multímetro na escada de tensão, fazer a medição e, se necessário, os ajustes.	

Fonte: adaptado de Guimarães (2017, [s.p.]).

O relé temporizador poderá ser verificado por um ohmímetro ou multímetro nas escalas de resistências e/ou continuidade, porém, para melhor comprovação de funcionamento, torna-se necessária a energização, a seleção do tempo de comutação e a cronometrização para verificar se o tempo selecionado está em perfeitas condições.

Assimile

O processo de comissionamento, quando feito pela primeira vez, pode ser considerado moroso ou até mesmo desnecessário, porém, depois de desenvolvidos os formulários, o checklist ou os termos pertinentes a esse procedimento, os próximos comissionamentos ficarão muito mais fáceis.

Uma dica para agilizar o trabalho é desenvolver uma caixa de testes ou possuir uma plataforma na bancada para testes desses equipamentos. A Figura 3.17 ilustra uma caixa de teste para comissionamento.

Figura 3.17 | Caixa de teste para comissionamento de componentes elétricos

(a) (b)

Fonte: elaborada pelo autor.

Testes de desempenho e análise de prováveis defeitos

No que tange projetos e manutenções em acionamentos, outras importantes etapas são os roteiros nas fases de testes de funcionamento – conhecidos como startup – e operação assistida. Na fase de testes de funcionamento, startup, os circuitos elétricos são testados passo a passo. Primeiro inicia-se pelo circuito de comando, sem carga e sem motor. Por meio do fluxograma de funcionamento ou do descritivo, é verificado cada possibilidade de acionamento, paralização do funcionamento e outras especificidades. O segundo passo é repetir o mesmo roteiro, porém com os motores, ou seja, com a parte de carga energizada.

Na fase de operação assistida, ainda com o mesmo roteiro de verificação no funcionamento, o circuito terá parte das cargas acopladas – 50% ou 70% das cargas acopladas, dependendo da complexidade da aplicação –, repetindo o procedimento e aumentando as cargas, até atingir os 100% de cargas.

Para que esses dois testes de desempenho sejam mais uma ferramenta de melhoria nas atividades profissionais, o roteiro de

testes deverá conter passos simples e com prováveis soluções aos defeitos que podem ocorrer.

O Quadro 3.8 apresenta um exemplo de roteiro para teste de funcionamento de um acionamento por partida direta para um motor cujo comando possui dois botões, um para acionar e outro para parar o funcionamento.

Quadro 3.8 | Roteiro de testes para funcionamento de acionamentos por partida direta

Roteiro de funcionamento	Testes de circuitos e aplicação			Comentários sobre possíveis soluções
	Comando	Com motor	Com carga	
Acionamento dos disjuntores.	Ok	Ok	Ok	Verificar se há alguma anomalia no circuito causando uma corrente de curto ou por sobrecarga.
Acionamento do botão para partida.	Ok	Ok	Ok	Verificar bloco de contato utilizado.
Contator de partida energizado e comutação feito.	Ok	Ok	Ok	Verificar ligações elétricas.
Motor no sentido correto.	-	Ok	Ok	Verificar inversão de fases nos contatores ou inversão nos condutores do circuito de comando.
Sinalizações ligadas.	Ok	Ok	Ok	Verificar tensão elétrica, testar sinalizadores fora do circuito de comando.
Acionamento do botão para parar funcionamento.	Ok	Ok	Ok	Verificar bloco de contato utilizado.
Contator de partida desenergizado.	Ok	Ok	Ok	Verificar ligações elétricas.

Fonte: elaborado pelo autor.

Reflita

As vantagens de se utilizar um roteiro de testes e checklist nas atividades profissionais são de fato interessantes e melhoram o desempenho como profissional.

Como você poderia fazer para que, independentemente do tipo de acionamento, tivesse algum roteiro de testes padronizados? Isso poderia agilizar suas atividades e tornar padronizado, ou organizado, os procedimentos que desempenha.

Sem medo de errar

Como sugerido pelo gerente da empresa Quero Doce Ltda., você e sua equipe aderiram a padronização dos projetos, a qual aborda as seguintes folhas de projetos:

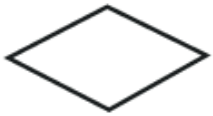
- Diagrama de carga.
- Diagrama de comando.
- Fluxograma de funcionamento.
- Sinótico do processo.
- Memorial de cálculo.
- Lista de componentes e dispositivos.
- Checklist para manutenção preventiva.

Vamos iniciar pelo primeiro projeto que você desenvolveu para a empresa – o diagrama de carga e comando da máquina de mistura de doce de leite com partida por *soft-starter*. Esse projeto não possui o fluxograma de funcionamento. Os demais itens da estrutura você já os fez.

Para relembrar o funcionamento e os diagramas de circuitos desenvolvidos, releia as Seções 3.1 e 3.2 desta unidade.

A construção do fluxograma será enxuta e ele deve ser o mais claro possível para que os eletricistas responsáveis pela montagem dos acionamentos possam entendê-lo e os operadores possam interpretar o funcionamento das máquinas. Basicamente serão utilizados os símbolos ilustrados no Quadro 3.9.

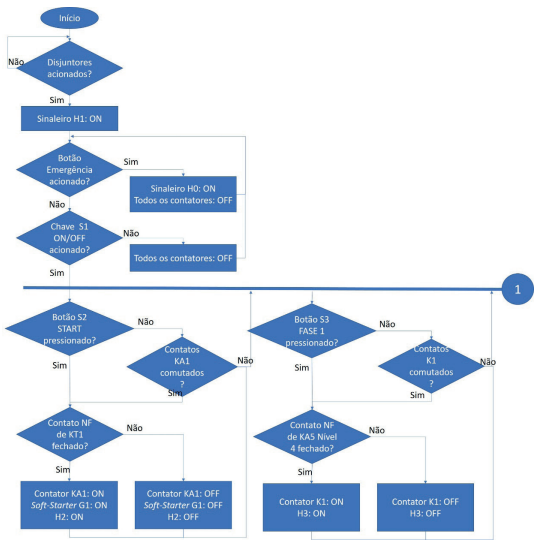
Quadro 3.9 | Símbolos para elaboração do fluxograma de funcionamento

Símbolo	Descrição	Observações
	Indica início e fim de um processo do fluxograma	-
	Condições para tomada de ação	Este bloco terá apenas duas saídas, uma se for verdadeira e a outra se for falsa.
	Ação a ser executada	-
	Conexão de fluxos	-

Fonte: elaborado pelo autor.

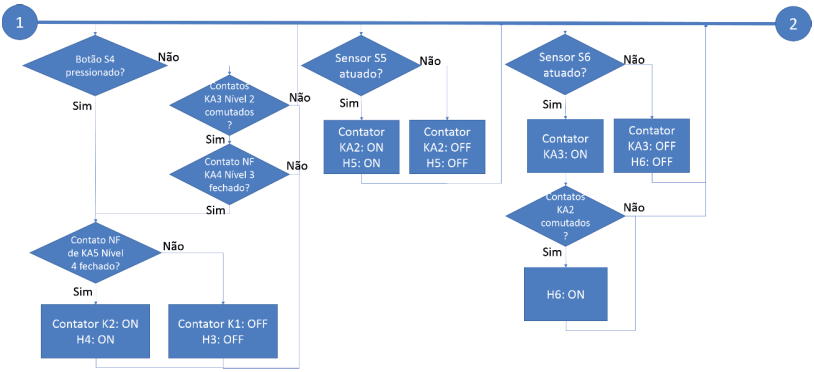
Após analisar os diagramas, o fluxograma resultante está ilustrado nas Figuras 3.18, 3.19 e 3.20.

Figura 3.18 | Fluxograma de funcionamento da máquina de mistura de doce de leite parte 1



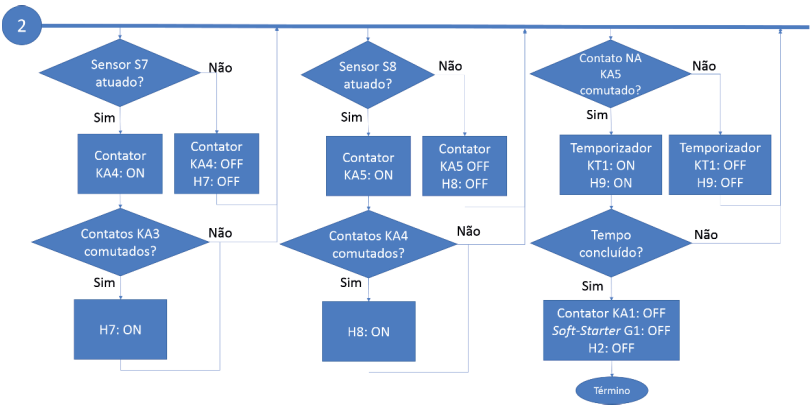
Fonte: elaborada.

Figura 3.19 | Fluxograma de funcionamento da máquina de mistura de doce de leite parte 2



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 3.20 | Fluxograma de funcionamento da máquina de mistura de doce de leite parte 3



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Desenvolvimento do diagrama de comando por meio do fluxograma de funcionamento

Descrição da situação-problema

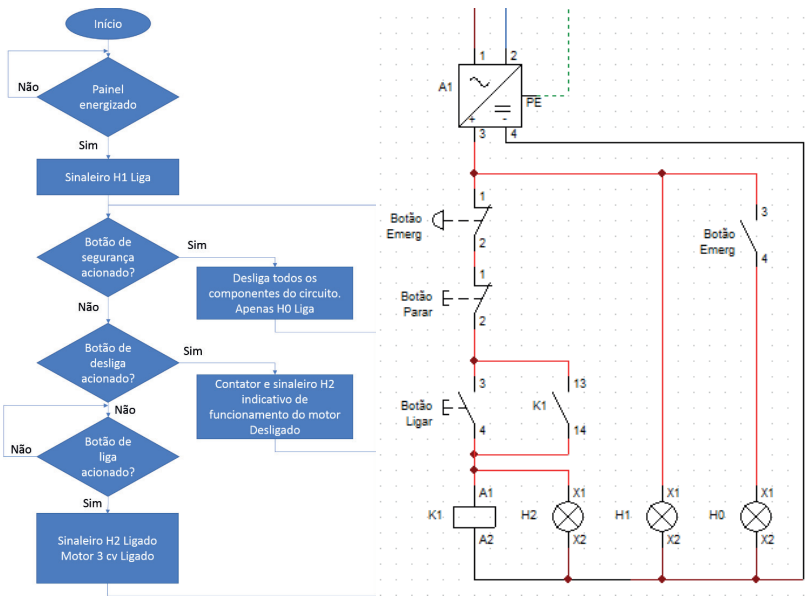
A empresa Recicle Bem contratou você para desenvolver um pequeno projeto de acionamento para uma parte de seu processo de reciclagem de papel. Porém há disponível somente o fluxograma de

funcionamento desenvolvido pelo responsável da produção. Assim, sua tarefa será elaborar o diagrama de comando para essa solicitação.

Resolução da situação-problema

Analisando o fluxograma de funcionamento, Figura 3.21(a), perceba que o acionamento será simples – somente os comandos de liga e desliga da partida. Como informado, o motor será de 3 cv, então poderá ser acionado por partida direta. A Figura 3.21(b) ilustra o diagrama de comando para essa aplicação.

Figura 3.21 | Fluxograma de funcionamento Recicle Bem (a) e diagrama de comando (b)



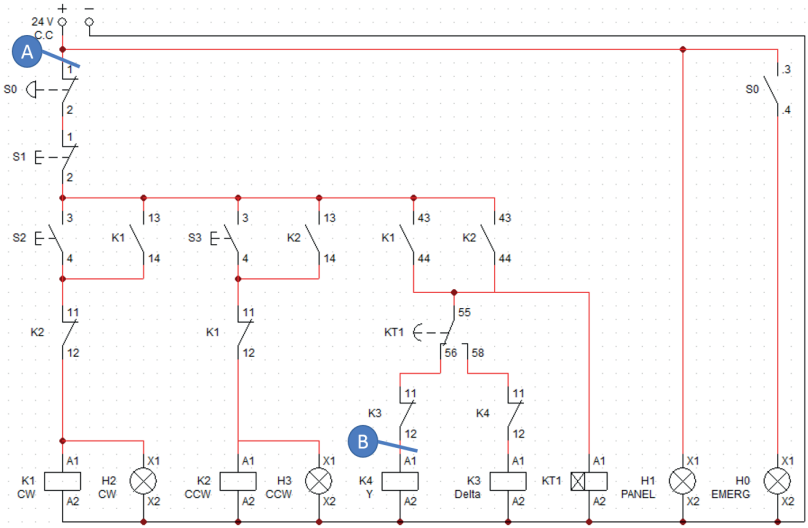
(a) (b)

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Ao fazer o teste de comissionamento no circuito ilustrado na figura a seguir, depois de a máquina ter parado por sobrecarga, o eletricista identificou que, mesmo o circuito estando desenergizado, há continuidade entre o ponto A e B.

Figura | Diagrama de comando em comissionamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Entre as ponderações feitas pelo eletricista estão:

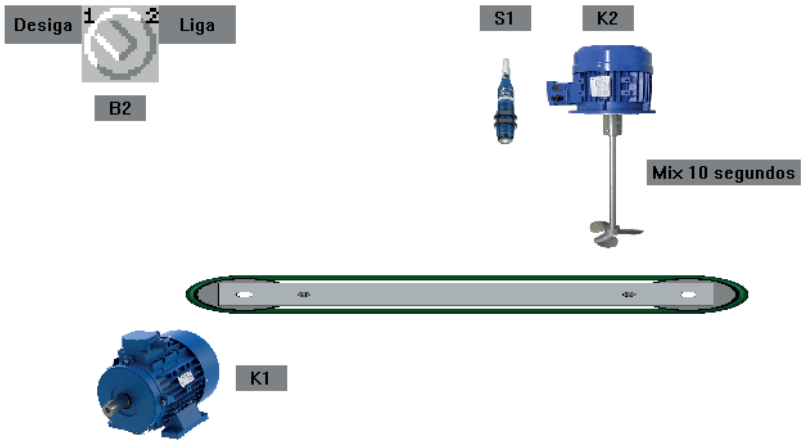
I. O motor parou no instante em que funcionava no modo de partida em estrela.
II. Os botões S1 ou S2 não comutaram de volta para a posição normal, NA, devido à sobrecarga.
III. A bobina de K2 está danificada, devido à sobrecarga.
IV. Os contatos de K1 ou de K2 não comutaram de volta para a posição normal, NA.
V. O relé temporizador danificou-se e não está comutando mais.

Escolha a melhor alternativa que descreva quais componentes poderão estar funcionando incorretamente e que prova a leitura de continuidade entre os pontos A e B.

a) Todas as alternativas estão corretas.
b) Somente a I está correta.
c) III e IV estão corretas.
d) I, II e V estão corretas.
e) Todas as alternativas estão erradas.

2. O técnico de uma empresa prestadora de serviços em instalações industriais recebeu a tarefa de desenvolver o circuito de comando, tendo como referência somente um sinótico, figura a seguir, e uma equação lógica.

Figura | Sinótico de funcionamento

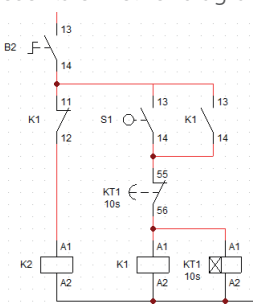


Fonte: elaborada pelo autor.

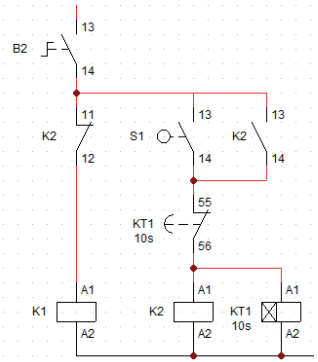
Conforme a figura, o motor da esteira será acionado quando o botão B2 estiver na posição "Liga" e o motor mix, K2, desligado, fazendo a comutação do contator K1. Já o motor do misturador, tendo o contator K2 como dispositivo de partida, será acionado quando o botão B2 estiver na posição "Liga" e o sensor S1 identificar a presença do recipiente, ou o contator K2 estiver acionado e o tempo configurado no temporizador, que será energizado no mesmo instante em que o motor do misturador, não tiver finalizado a contagem dos 10 segundos.

Para a equação lógica de acionamento do motor da esteira, $K1 = B2 \cdot \overline{K2}$, e a equação lógica para acionamento do misturador temporizado, $K2 = KT1 = B2 \cdot (S1 + K2) \cdot \overline{KT1_{10s}}$, qual alternativa apresenta o melhor diagrama de comando para essas equações e sinótico?

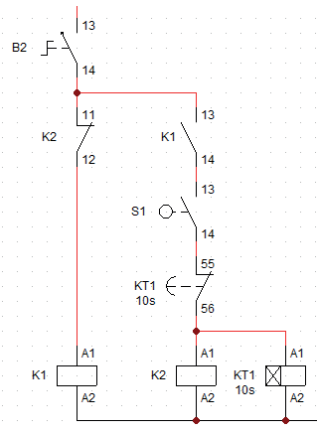
a)



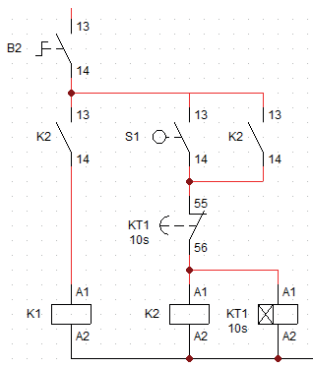
b)


B2
13
14
K2
11
12
S1
13
14
K2
13
14
55
KT1
10s
56
K1
A1
A2
K2
A1
A2
KT1
10s
A1
A2

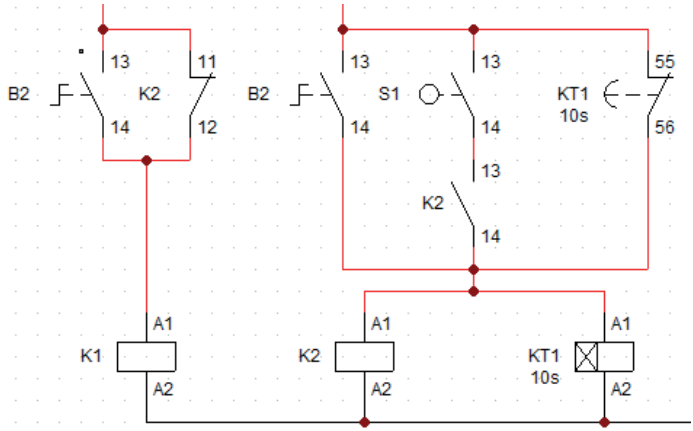
c)


B2
13
14
K2
11
12
K1
13
14
S1
13
14
55
KT1
10s
56
K1
A1
A2
K2
A1
A2
KT1
10s
A1
A2

d)

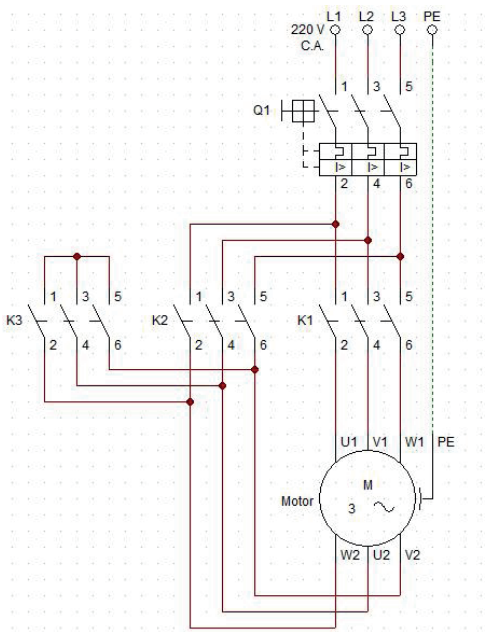

B2
13
14
K2
13
14
S1
13
14
K2
13
14
55
KT1
10s
56
K1
A1
A2
K2
A1
A2
KT1
10s
A1
A2

e)

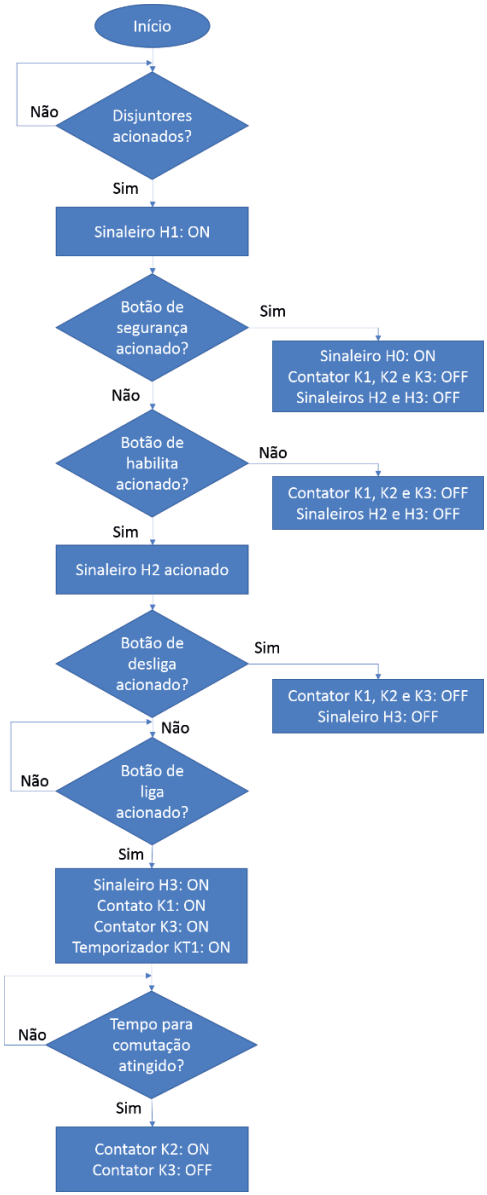


3. Alguns dos projetos de acionamentos da empresa Soluções Elétricas não estão completos. A empresa contratou um jovem estudante para organizar e sinalizar quais partes estão faltando. Esse jovem estudante está agora com dúvidas em um determinado projeto, pois só encontrou o diagrama de carga e o fluxograma, ilustrados nas figuras a seguir.

Figura | Diagrama de carga (a) e fluxograma de funcionamento (b)



(a)



(b)

Fonte: elaborada pelo autor.

De acordo com as figuras apresentadas, qual alternativa a seguir melhor informa o tipo de partida projetada?

a) Partida direta com reversão com temporizador para comutar sentido de rotação.
b) Partida estrela-triângulo com motor de dupla velocidade.
c) Partida estrela-triângulo com motor de indução monofásica.
d) Partida estrela-triângulo com motor de indução trifásica.
e) Partida direta com reversão com temporizador para comutar sentido de rotação e contator reserva.

Referências

FERNANDES FILHO, Guilherme Eugênio Filippo; DIAS, Rubens Alves. **Comandos elétricos**: componentes discretos, elementos de manobra e aplicações. 1.ed. São Paulo: Erica, 2014. 184 p.

FRANCHI, Claiton Moro. **Sistemas de acionamento elétrico.** 1.ed. São Paulo: Erica, 2014. 152 p.

GUIMARÃES, Herbert. Guia de lições aprendidas. 2017. Disponível em: <http://guimaraesconsultoria.com.br/guia-de-licoes-aprendidas/>. Acesso em: 30 jan. 2018.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 666 p.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Série Tekne. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 372 p.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 8.ed. São Paulo: Erica, 2011. 224 p.

WEG. Disjuntores-motores MPW: manobra e proteção de motores elétricos até 100 A. [s.d.]. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-disjuntores-motores-linha-mpw-50009822-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2018.

Princípios e funcionamentos de conversores de frequência

Convite ao estudo

Os motores elétricos representam 75% da energia demandada e muitos são acionados por partidas que apenas os colocam em total funcionamento, porém saber identificar o tipo de carga a ser acoplada e o modo de operação dela fará toda a diferença para o profissional da área.

Alguns motores são acionados por meio de conversores de frequência, que, após análise acerca da taxa de carga acoplada ao motor, poderão operar proporcionalmente, resultando em economia, uma vez que a tensão de alimentação e corrente será proporcional ao trabalho exercido.

Os conversores de frequência são também conhecidos como inversores de frequência, porém este nome se refere há um bloco interno, como veremos na primeira seção, responsável pela entrega do sinal modulado ao motor.

Ainda na primeira seção, você estudará os dois tipos de controles de um conversor de frequência, o escalar e o vetorial, conhecerá como são feitas as análises de viabilidade para projetos de eficiência energética e, de forma prática, atuará com estes conhecimentos em situações-problema.

Imagine que você é, agora, o técnico de desenvolvimento dos setores eletrotécnicos e mecatrônicos na companhia Uni Tecidos S.A. A empresa está passando por uma fase de amadurecimento dos negócios, e com isso está incentivando projetos para redução dos custos, do reprocesso e do desperdício. O projeto do seu setor está sendo desenvolvido com base em análises de energia nas máquinas, a fim de redimensionar os motores que estão trabalhando com

subcargas, ou seja, abaixo do mínimo que poderiam atuar, e de melhorar a vida útil deles para eliminação das manutenções corretivas excessivas.

Na segunda seção, será estudado como são realizados os dimensionamentos dos conversores de frequência e observações de boas práticas na instalação e parametrização deles.

Na seção 3, serão apresentadas aplicações que demandam diferentes formas de acionamento dos motores elétricos e como os motores são apresentados em projetos a serem entregues aos clientes.

Bons estudos.

Seção 4.1

Conversores de frequência

Diálogo aberto

Chegando ao final do curso, não poderíamos deixar de lado dois grandes temas que o tornarão melhor profissional: primeiro, conhecer e saber o funcionamento dos conversores de frequência e, segundo, sensibilizar-se por projetos de eficiência energética tanto em novas instalações como nas rotinas de manutenção.

Ambos andam juntos para se conseguir melhor *performance* de trabalho dos motores e garantir a correta operação das máquinas e dos processos.

Neste novo desafio, você vai atuar na companhia Uni Tecidos S.A. como técnico de desenvolvimento dos setores eletrotécnico e mecatrônico. Recentemente, foram adotados na empresa projetos com iniciativas para redução de custos, de reprocesso e de desperdícios. O projeto do seu setor será o desenvolvimento de análises de energia nas máquinas, a fim de redimensionar os motores que estão trabalhando com subcargas e tempo de partida maior que o tempo de rotor bloqueado. Desta forma, não só as premissas requeridas pela empresa estariam sendo atendidas, como também a melhoria na vida útil dos motores e a redução das manutenções corretivas deles.

Ao analisar o processo de recobrimento de elástico em cinco linhas de produção, foi detectado que cada uma delas utiliza dois motores do tipo gaiola de indução de 10 cv, para movimentar os dispositivos do processo. Porém, os dois motores estão acoplados juntos, através de polias e correias, para movimentar o mesmo eixo, e a análise mostrou que cada motor estava trabalhando com aproximadamente 40% de carga. Além disso, o tempo de partida estava por volta de 30 segundos, com corrente de partida por volta de 120 A, ligados em 380 V trifásico.

Neste momento, sua equipe o questiona sobre como podem resolver este problema e propor um projeto de eficiência energética, talvez trocando o motor atual por um de menor potência? Implantar

uma *softstarter* ou conversor de frequência para reduzir o tempo e a corrente de partida seria o mais viável? Como apresentarão estas informações para a gerência da empresa?

No decorrer dos nossos estudos, você terá acesso aos conteúdos e temas necessários para solução deste primeiro problema.

Iniciamos a seção abordando os princípios de funcionamento dos conversores de frequência, comumente chamados de inversores de frequência devido a um circuito interno desenvolver esta função. Em seguida, estudaremos os dois atuais tipos de conversores, escalar por controle de tensão e frequência e vetorial por controle de tensão, frequência, corrente e outras importantes variáveis.

Finalizando a seção, trataremos do tema eficiência energética nos acionamentos de motores elétricos, demonstrando como são feitas as análises e os cálculos.

Bons estudos.

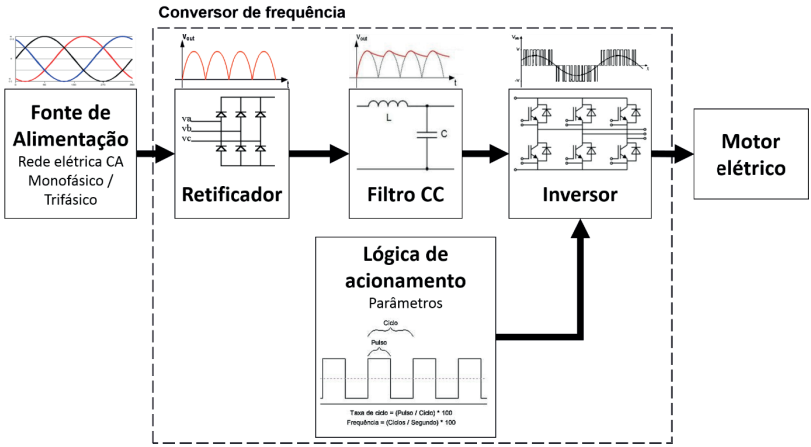
Não pode faltar

Princípios de funcionamento dos conversores de frequência

O estudo e o desenvolvimento tecnológico em relação aos conversores de frequência têm como premissa controlar a velocidade dos motores elétricos conectados a eles. Para tanto, é necessário entender que a velocidade do motor, ou seja, o número de rotações por minuto (n) do motor, é definida pela equação $n = \frac{120 \times f}{p}$, na qual esta variável é resultante da relação entre frequência da fonte alimentadora (f) e o número de polos (p). O número de polos é fixo conforme o projeto do motor, no mercado atual podem ser encontrados de 2 a 12 polos; já a frequência de alimentação poderá ser modulada por circuitos eletrônicos de potência.

A Figura 4.1 ilustra a estrutura interna em blocos do conversor de frequência.

Figura 4.1 | Diagrama de blocos do conversor de frequência



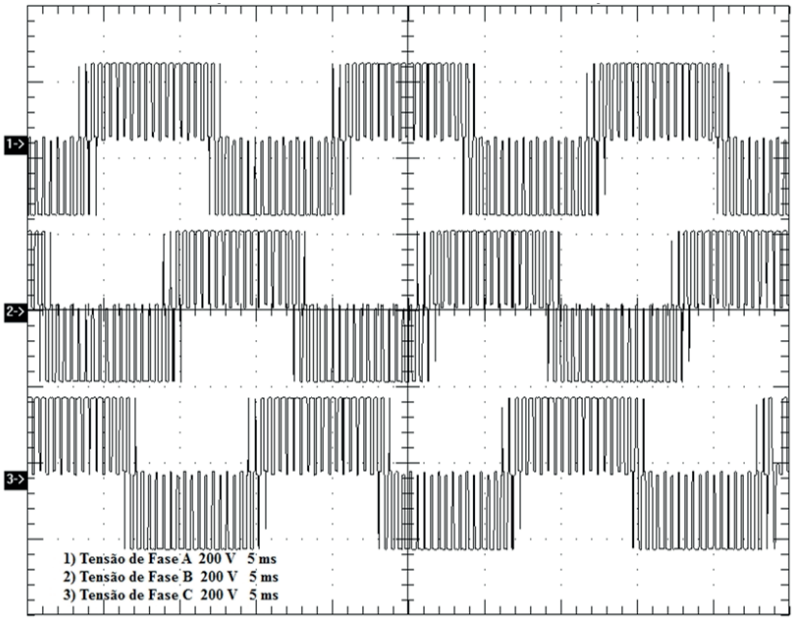
Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 4.1, temos:

- Fonte de alimentação: normalmente a tensão elétrica e a frequência da rede deverão ter o mesmo valor que os dados nominais do motor, porém alguns conversores de frequência operam em diferentes tensões elétricas, tendo como entrada uma rede monofásica e bifásica, e o circuito eletrônico interno, além de modular a frequência de saída, também entrega ao motor uma tensão trifásica.
- Retificador: este circuito é responsável pela retificação da tensão alternada para tensão contínua, através de pontes de diodos para sistemas elétricos monofásicos ou trifásicos.
- Filtro CC: circuito responsável por conectar o sinal vindo do retificador para o bloco inversor, suavizando a onda contínua pulsante retificada para que fique não pulsante.
- Controlador: circuito eletrônico com microprocessador incorporado para controlar os disparos e comutação dos componentes de potência, tiristores ou transistores.
- Inversor: este bloco faz a conversão do sinal CC filtrado para uma onda CC pulsante, no qual simula uma onda CA na saída através do circuito eletrônico contendo transistores ou tiristores, no qual são comutados conforme o modelo lógico desenvolvido pelo controlador, bloco lógico de acionamento.

Basicamente estes transistores ou tiristores são chaveados por largura de pulso, pwm, e o produto de seu acionamento forma ondas alternadas e desfasadas entre si para que na saída se tenha, por exemplo, uma tensão trifásica. A Figura 4.2 ilustra as ondas alternadas sobre a modulação do pulso.

Figura 4.2 | Modulação PWM em tensão trifásica



Fonte: <http://www.servicedrive.com.br/wp-content/uploads/PWM-Fig-7.png>. Acesso em: 15 jan. 2018.

- Lógica de acionamento: faz a interface entre operação e processo, para que sejam modelados os pulsos necessários que irão controlar o chaveamento dos transistores e tiristores. No circuito eletrônico deste bloco, há um microcontrolador incorporado para cuidar do chaveamento dos dispositivos de potência na sequência e com a frequência correta. Este bloco pode ainda ter uma tela de interface com o usuário (IHM), no qual podem-se definir valores de diversos parâmetros, que irão compor a modulação do sinal elétrico enviado ao motor.

Reflita

Sabe-se que, em um circuito em malha aberta, não há retorno do estado da carga para o controlador ajustar o acionamento. Em malha aberta, o controlador apenas envia um sinal de comando para que o bloco inversor atue na velocidade do motor conectado. Já em malha fechada, o circuito controlador envia um sinal de comando alterando a velocidade do motor, em seguida verifica se o motor correspondeu ao comando e, se necessário, o controlador envia outro comando para corrigir algum erro. Como podemos verificar a velocidade do motor e fazer a realimentação para que o controlador opere em malha fechada?

Acionamento por controle escalar

O controle escalar é um método simples e de baixo custo, em relação ao de controle vetorial, para variação da velocidade, pois baseia-se no conceito de proporcionar ao motor um fluxo constante apenas com a relação tensão elétrica sobre frequência, V/f. Tal simplicidade pode provocar danos no isolamento das bobinas do motor, caso a tensão de ajuste seja maior que a tensão nominal, lembrando que proporcionalmente a frequência também aumentará, passando à frequência nominal, que em nosso país, ao menos na maior parte dos estados, trabalha em 60 Hz.

Este tipo de controle não é recomendável tanto para motores muito antigo como para motores que operam a baixas velocidades, pois o toque também será baixo, ressaltando que no controle escalar há uma relação proporcional entre tensão elétrica e frequência, o que afeta significativamente a corrente de fluxo. Alguns modelos apresentam recursos especiais, como o torque de partida, que no momento da partida aumenta a relação V/f para aumentar o fluxo e obter alto torque inicial. Há ainda a compensação de escorregamento, atenuando a variação de velocidade em função da carga, e o *boost* de tensão, capacidade de manter o torque mesmo com o efeito da queda de tensão. Em contrapartida, aumentando a frequência de operação acima do nominal, 60 Hz, o fluxo magnético também irá diminuir, o que provoca o enfraquecimento do campo e a diminuição do torque.

O acionamento escalar é muito utilizado quando as aplicações não necessitam de alta precisão no controle de velocidade, devido ao

modelo ser de malha aberta, ou seja, sem sensores na monitoração da saída, e aplicações simples que não requerem elevada dinâmica, como acelerações e frenagens muito rápidas.

A precisão do controle escalar sobre o torque nominal é de aproximadamente 0,5% para aplicações de cargas fixas, e para cargas que variam uma precisão na faixa de 3% a 5%.

Exemplificando

A relação tensão elétrica e frequência, V/f, pode ser determinada pelos dados contidos na placa de identificação do motor. Tal relação fornece a proporção com que o controle escalar atua sobre o sinal de resposta ao motor elétrico. Com isso, um técnico responsável por melhorar a eficiência energética da empresa comprou um conversor de frequência escalar, pois sua aplicação é para controle dos ventiladores do galpão, que atualmente são acionados por partidas estrela-triângulo, o que impossibilita o controle de velocidade dos motores para que seja proporcional à temperatura do galpão.

O motor é trifásico de 7,5 cv, 4 polos, 1800 rpm, energizado em 380 Vca, cuja frequência de alimentação é de 60 Hz, apresentando uma relação V/f de:

- $V/f = \frac{V}{f} = \frac{380}{60} = 6{,}33 \text{ V/Hz}$

Isso significa que, conforme a velocidade desejada na ponta do eixo do motor, tem-se a proporção 6,33 V/Hz para que se mantenha o torque. Assim sendo, qual a frequência necessária que o conversor de frequência deveria produzir para que a velocidade do motor seja de 1000 rpm?

- Para calcular a frequência desejada, usaremos a fórmula de velocidade síncrono do motor, dada em rpm, $n = 120 \times \frac{f}{p}$, então a frequência será $f = \frac{n \times p}{120} = \frac{1000 \times 4}{120} = 33{,}33 \text{ Hz}$.
- Proporcionalmente, a tensão de alimentação do motor será igual a $V = 6{,}33 \times 33{,}33 = 210{,}98 \text{ V}$.

Isso fará com que o motor produza o trabalho ideal, sem a necessidade de mantê-lo com controle liga e desliga, ou seja, em 100% e 0%.

Por ser escalar e de malha aberta, não há controle se o que o conversor de frequência enviou ao motor, neste caso 33,33 Hz, está produzindo os 1000 rpm requeridos no eixo do motor.

Acionamento por controle vetorial

Diante da necessidade de melhorar a *performance* de repostadas em um acionamento de motores elétricos, o controle vetorial se destaca por precisão, retorno rápido da malha fechada para regulação da velocidade e controle mais refinado do torque.

O princípio de funcionamento deste controle baseia-se na relação tensão elétrica e frequência, volts por hertz, porém, além de controlar a magnitude do fluxo do motor, controla o ângulo entre tensão e corrente elétrica.

Um detalhe interessante é que, no momento do acionamento dos motores, a corrente de partida se aproxima da corrente nominal, e a partir de 3 Hz já se obtém movimento no eixo do motor com torque suficiente para acionar a carga acoplada, pois o toque de partida é de 150% do valor nominal.

As unidades de acionamento vetoriais podem ser de malha fechada interna ou externa.

Quando em malha fechada interna, *sensorless*, utilizam do próprio circuito eletrônico de controle para fazer a realimentação, por isso são erroneamente chamadas de malha aberta. Com esse acionamento é possível deixar o sistema de controle vetorial mais simples, pois seu funcionamento será através de leituras do próprio controlador para manter a velocidade e o torque próximo do desejado, porém em baixas velocidades apresenta limitações quanto ao torque.

Quando de malha fechada externa, é necessária a instalação de *encoder* junto ao motor, o qual irá enviar ao controlador a posição e velocidade do eixo, possibilitando melhor controle sobre o torque e a potência real a serem produzidos pelo motor, podendo ainda, entre suas vastas aplicações de controle de velocidade, manter o torque em velocidade zero, por exemplo, ao içar cargas.

O Quadro 4.1 apresenta um comparativo entre o controle escalar e o controle vetorial.

Quadro 4.1 | Comparativo entre os conversores de frequência escalar e vetorial

Características	Conversor escalar	Conversor vetorial de malha fechada	
		Interna	Externa
Consegue segurar a carga com velocidade zero	Não	Não	Sim
Regulação de velocidade	Depende do escorregamento	0,2%	0,01%
Controle de torque	Baixo	Limitado aos 100% de torque nominal	Alto
Precisão da velocidade	Baixa	Média	Alta

Fonte: elaborado pelo autor.

Além das características apresentadas no Quadro pode-se destacar a forma como cada controlador se comporta. No escalar, somente são consideradas as amplitudes das grandezas instantâneas, como fluxos, correntes e tensões, referentes ao estator, e as equações são de regime permanente. Já no controle vetorial, as grandezas elétricas instantâneas são interpretadas por vetores com equações espaciais dinâmicas da máquina, como se fosse um motor de corrente contínua, com torque e fluxo independentes.

Pesquise mais

Ao estudar sobre as formas de controlar a velocidade de motores elétricos, nos deparamos com o termo de modulação por largura de pulso, PWM.

Basicamente são os disparos feitos aos dispositivos de potência que irão chavear a tensão elétrica entregue ao motor; esses disparos são pulsos com moduladas em diferentes larguras.

Recomenda-se que você pesquise mais sobre as técnicas existentes de modulação PWM.

O *link* compartilhado é um artigo elaborado pela empresa CitiSystems com o título *O que é PWM* e *Para que Serve?*. Disponível em <https://www.citisystems.com.br/pwm/>. Acesso em: 24 dez. 2017.

Eficiência energética em acionamentos de motores elétricos

Eficiência energética é um tema que vem sendo discutido, aprendido e desenvolvido cada vez mais nos últimos anos, primeiro pela necessidade de conservar as fontes energéticas e consequentemente o meio ambiente, segundo pelo valor pago pelo kW/h e desempenho dos equipamentos. Contudo, eficiência enérgica não se limita apenas a economia na conta de energia, mas inclui no projeto o uso racional e inteligente de água, a forma como as construções estão sendo feitas, a ventilação natural e o aquecimento de água; estes são alguns dos exemplos deste grande tema.

Tratando-se de eficiência energética nos acionamentos de motores elétricos, é importante entender que, para ocorrer economia e melhor *performance* destes acionamentos, torna-se indispensável o uso de conversores de frequência.

O primeiro passo para implantação de ações de eficiência energética é realizar o levantamento de consumo dos equipamentos e aparelhos da rede elétrica. Além destes dados, são necessárias as medições das grandezas elétricas como potência ativa e reativa, corrente elétrica, tensão elétrica e fator de potência. O recomendado são medidores digitais com memória de massa, que fazem as medições ao longo do dia e apresentam em forma de gráficos os valores. Quando se tem um painel Centro de Controle dos Motores (CCM), as medições são feitas através de sua alimentação principal e nas gavetas de acionamentos, obtendo os dados de consumo, níveis de tensão e distorções harmônicas por um período de no mínimo 24 horas. Na falta do CCM, as medições podem ser feitas através dos terminais dos motores, com medições instantâneas se menores que 5 cv, medições de pequena duração, 4 h em média, para motores que operam de forma contínua e carga uniforme, ou ainda através de medições por ciclo operacional de máquinas para motores que operam de forma não contínua e carga não uniforme.

A média de consumo dos motores em uma indústria é em torno de 60% ou mais, por isso os projetos de implantação devem ser feitos, tendo em conta as melhores condições de uso e os planos de manutenção periódica, para avaliar o desempenho deles depois de instalados e em funcionamento. Grande parte deste consumo resulta de práticas que não estão em conformidade com o projeto original e com demandas corretivas do processo, como a

substituição de motores por outros com potência maior, operando superdimensionados com relação a carga; os altos fatores de segurança para elevar a capacidade e vida útil dos motores; a falta de conhecimento das características de operação das cargas acopladas; a negligência dos fatores de serviço de alguns motores, entre outras.

Conforme estudo nas unidades anteriores, os motores que operam à baixa carga, geralmente igual ou inferior a 50% de sua potência nominal, apresentam um rendimento declinante, e os que operam com carga acima de 70% apresentam um rendimento melhor, aproximando-se do rendimento máximo. Com isso, conclui-se que os desperdícios do potencial elétrico relacionados aos motores são resultantes dos seguintes fatores:

- Baixa qualidade da energia fornecida.
- Motores mal dimensionados referentes ao tipo de carga e aos fatores de operação.
- Manutenções inadequadas.
- Baixo fator de potência.
- Temperatura ambiente elevada.
- Sistema mecânico de transmissão desajustado.
- Falta de informações nos catálogos.
- Rendimentos diferentes entre fabricantes.
- Motores rebobinados.
- Acionamento inadequado.
- Condutores de ligação mal dimensionados.
- Motores de baixo rendimento e desempenho.

O projeto de eficiência energética para acionamentos de motores deverá apresentar também a avaliação de substituição dos motores de baixo rendimento pelos de alto rendimento, pois esta avalição abrangerá não só os motores mal dimensionados e a economia gerada, mas também o tempo de retorno do investimento. Para tanto, seguiremos com os cálculos e as análises do Quadro 4.2. Foram utilizados dados de motor coletados do catálogo do fabricante para poder exemplificar tais cálculos e viabilizar a análise, que serão apresentados conforme a necessidade no roteiro.

Quadro 4.2 | Avaliação de eficiência energética e de investimentos para substituição de motores

Roteiro	Cálculo	Exemplo
1. Taxa de carga do motor atual. Obs.: Este cálculo determinará a porcentagem no qual o motor está operando, classificando em subcarga, carga nominal ou sobrecarga.	$\Delta I\% = \frac{I_{op}}{I_{nm}} \times 100\ [\%]$ • Iop: Corrente operacional, medida no terminal do motor. • Inm: Corrente nominal, leitura da placa de identificação.	Um motor de 75 cv, 4 polos, ligado em 220 v, cuja corrente nominal é de 175 A, apresentou uma corrente operacional de 95A. Fazendo os cálculos, encontramos uma taxa de carga igual a 54,28%, ou seja, o motor está trabalhando em subcarga.
2. Potência ativa do motor atual. Obs.: Alguns valores demandam a análise do gráfico de desempenho do motor, encontrado no catálogo do fabricante.	$P_a = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op} \times \cos\psi$ [kW] • Vop: Tensão da rede de alimentação, medido diretamente. • ψ : ângulo do fator de potência, valor conforme gráfico e pela taxa de carga.	Continuando o exemplo anterior e considerando os seguintes dados: $V_{op} = 219$ V $I_{op} = 95$ A $\cos\psi = 0,78$, temos que a potência ativa será: $P_a = 28,11$ kW .
3. Energia consumida pelo motor atual. Obs.: Os cálculos serão feitos levando em conta a operação do motor em 22 dias úteis por 24 horas de trabalho por dia.	Fora do horário de ponta ou de pico: $E_{normal} = P_a \times N_{h/d} \times N_{d/m}$ [kWh] No horário de ponta ou de pico: $E_{ponta} = P_a \times N_{h/d} \times N_{d/m}$ [kWh] • Nh/d: número de horas de funcionamento por dia. • Nd/m: número de dias por mês de funcionamento do motor.	Ao todo serão 24 horas, sendo que, destas, 3 horas são consideradas como horário de ponta nos dias úteis, ou seja, segunda a sexta. A energia consumida fora do horário de ponta será de: $E_{normal} = 28,11 \times 22 \times (24 - 3)$ $E_{normal} = 12.986,82$ kWh E no horário de ponta de: $E_{ponta} = 28,11 \times 22 \times 3$ $E_{ponta} = 1.855,26$ kWh
4. Potência útil do motor atual. Obs.: Alguns valores demandam a análise do gráfico de desempenho do motor, encontrado no catálogo do fabricante.	$P_u = \frac{P_a \times \eta}{0,736}$ [cv] • η : rendimento do motor atual, valor conforme gráfico e pela taxa de carga.	Rendimento $\eta = 0,938$. Dessa forma, a potência útil será de $P_u = 35,82$ cv .

5. Viabilidade de substituição pela relação de potências.	$\Delta I_{u/nm} = \frac{P_u}{P_{nm}}$ Se $\Delta I_{u/nm} \geq 0{,}60$, não existe potencial de economia de energia elétrica, sem necessidade de continuidade desta análise; caso o valor seja inferior, podemos prosseguir.	A viabilidade do exemplo aqui apresentado será: $\Delta I_{u/nm} = \frac{P_u}{P_{nm}} = \frac{35{,}82}{75} = 0{,}478$ Como o valor está abaixo do 0,60 recomendado, continuaremos a análise.
6. Definição do novo motor. Obs.: Após o cálculo de seleção da potência nominal do novo motor, temos de calcular novamente os passos de 1 a 3 com os valores do novo motor, para posteriores comparações. Obs.: Para calcular a taxa de carga do novo motor, será necessário levar em conta a potência útil e a nova potência nominal, pois não há meios de definir a corrente de operação sem ele ter sido instalado, sendo calculado por $\Delta I_{\%} = \frac{P_u}{P_{nm}} \times 100$ Obs.: Alguns valores demandam a análise do gráfico de desempenho do motor, encontrado no catálogo do fabricante.	$P_{nm_2} = (1{,}1 \text{ a } 1{,}3) \times Pu$ [cv] • Variação de 10% a 30% superior à potência útil do motor atual para o novo motor.	Sendo assim, o novo motor poderá ser de 39,4 cv a 46,56 cv, porém no mercado dispomos apenas de motores com 40 cv. Os dados de placa do motor de 40 cv ligado em rede de 220 V, 4 polos, corrente nominal de 102 A, rendimento 0,95 e fator de potência 0,81. Refazendo os cálculos para análise, tem-se: 1. Taxa de carga de $\Delta I_{u/nm} = \frac{P_u}{P_{nm_2}} = \frac{35{,}82}{40} = 0{,}895$ 2. Potência ativa igual a $P_a = \sqrt{3} \times 219 \times 91{,}34 \times 0{,}79$ $P_{a2} = 27{,}37$ kW. Para dados do motor e aplicação, sendo: $V_{op2} = 219$ V, $\cos\psi_2 = 0{,}79$ e $I_{op2} = \Delta I_{\%} \times I_{nm} = 91{,}34$ A 3. Energia consumida fora do horário de ponta de $E_{normal} = 12.644{,}9$ kWh e no horário de ponta igual a $E_{ponta} = 1.806{,}4$ kWh.

7. Economia gerada. Será avaliada a redução de potência ativa entre o motor atual e novo motor, ΔP_a, e da energia consumida, ΔE.	Redução de potência ativa: • $\Delta P_a = P_a - P_{a2}$ Redução da energia consumida: • $\Delta E = E_1 - E_2$	Finalizando o projeto de análise da substituição do motor, teremos uma redução na energia consumida considerando a diferença entre a energia consumida atual e energia a ser consumida pelo novo motor: $E_1 = 12.986,82 + 1.855,26$ $E_1 = 14.842$ kWh e $E2 = 12.644,9 + 1.806,4$ $E_1 = 14.451,3$ kWh $\Delta E = 390,7$ kWh/mês.

Fonte: <http://guimaraesconsultoria.com.br/projeto-ee-motores/>. Acesso em: 24 dez. 2017.

Assimile

Com os dados de consumo dos motores, valores de aquisições de novos motores com melhor rendimento e os valores das tarifas, é possível incorporar ao projeto de eficiência energética o tempo de retorno, o valor de redução na fatura e o valor presente líquido.

O valor presente líquido determina o valor de fluxos de caixa acumulado (Fac), sendo determinado por: $F_{ac} = \sum_{T=0}^{N} \frac{F_c}{(1+I_r)^T}$

- Fc: fluxo de caixa descontado, ou seja, diferença entre receita e despesas no período.
- Ir: taxa de desconto ou taxa interna de retorno, por exemplo: se a taxa de juros para o empréstimo ou do investimento for de 20% ao ano, então I_r será 0,20.
- T: tempo a que se refere a taxa I_r, podendo ser ao ano, ao mês e ao trimestre.
- N: número de períodos.

Com o uso de uma planilha, é possível visualizar este fluxo de caixa acumulado ano a ano e ainda gerar o gráfico que representa o tempo de retorno de investimento, chamado de ROI, siglas do termo em inglês.

Sem medo de errar

Você está atuando na companhia Uni Tecidos S.A. como técnico de desenvolvimento dos setores eletrotécnico e mecatrônico. Recentemente, foram adotados na empresa projetos com iniciativas para redução de custos, de reprocesso e de desperdício. O projeto do seu setor será o desenvolvimento de análises de energia nas máquinas, a fim de redimensionar os motores que estão trabalhando com subcargas e com tempo de partida maior que o tempo de rotor bloqueado. Desta forma, não só as premissas requeridas pela empresa estariam sendo atendidas, como também a melhoria na vida útil dos motores e a redução das manutenções corretivas sobre estes.

Ao analisar o processo de recobrimento de elástico em cinco linhas de produção, foi detectado que cada uma delas utiliza dois motores do tipo gaiola de indução de 10 cv para movimentar os dispositivos do processo. Porém, os dois motores estão acoplados juntos, através de polias e correias, para movimentar o mesmo eixo, e a análise mostrou que cada motor estava trabalhando com aproximadamente 40% de carga. Além disso, o tempo de partida estava por volta de 30 segundos com corrente de partida por volta de 120 A, ligados em 380 V. Os dados dos motores indicam fator de potência de 0,58, rendimento de 0,872 e corrente nominal de 15 A.

Neste momento, sua equipe o questiona sobre como podem resolver este problema e propor um projeto de eficiência energética, talvez trocando os dois motores atuais por apenas um de maior potência? Implantar uma softstarter ou conversor de frequência para reduzir o tempo e corrente de partida seria o mais viável? Como apresentarão estas informações para a gerência da empresa?

Como visto ao longo da unidade, se a taxa de subcarga estiver abaixo de 60%, há uma grande probabilidade de substituição por motores de menor potência, elevando a taxa de subcarga, ou, conforme a aplicação, por um motor de maior potência que substitui um determinado conjunto de motores. Para tanto, alguns cálculos são necessários:

- $P_a = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op} \times \cos\psi = 3{,}44 \text{ kW}$
  - $V_{op} = 380 \text{ V}$
  - $I_{op} = 40\% * 15 = 9 \text{ A}$
  - $\cos\psi = 0{,}58$

- $P_u = \frac{P_a \times \eta}{0{,}736} = 4{,}08$ cv
  - $\eta = 0{,}872$
- $\Delta I_{u/nm} = \frac{P_u}{P_{nm}} = \frac{4{,}08}{10} = 0{,}408$, bom potencial para substituição, por apresentar valor menor que 60%, ou seja, 0,6. Ao longo da análise, será feito o comparativo da substituição de cada motor por um outro de menor potência ou a substituição dos dois por um de maior potência.
- $P_{nm_2} = (1{,}1 \text{ a } 1{,}3) \times Pu = (1{,}1 \text{ a } 1{,}3) \times 4{,}08$, resultando em $4{,}5 \leq P_{nm_2} \leq 5{,}3$ cv, sendo que esta é a faixa em que o novo motor poderá ser escolhido comercialmente, ou ainda fazer adaptações mecânicas na máquina e utilizar apenas um motor de 10 cv (85% de trabalho).

O uso da *softstarter* limitaria a corrente de partida e consequentemente o tempo seria menor que o de rotor bloqueado, limitando a rampa de aceleração em aproximadamente 20 s.

O uso do conversor de frequência apenas para dar partida no motor é desnecessário em razão de seu valor de aquisição ser maior do que a *softstarter*; por outro lado, poderá ser parametrizado para, quando estiver com subcarga, reduzir a rotação e diminuir o consumo de energia, através da relação V/f.

De forma simplificada, estes dados poderão ser apresentados fazendo o comparativo entre os motores antigos e os novos, como mostrado no Quadro 4.3

Quadro 4.3 | Comparativo para substituição dos motores

	Projeto atual	Projeto motor 5 cv (Tx Subcarga 82%)	Projeto motor 10 cv (Tx Subcarga 82%)
Custo (R$/KWh)	R$ 0,17		
Horas de operação / dia	24 horas		
Dias de operação / mês	22 dias		
Potência aparente (kW) [1]	4,48	4,36	8,44
Quantidade	10	10	5
Consumo anual (KWh) [2]	283.852,80	276.249,60	267.379,20

Custo anual	R$48.255,00	R$46.962,00	R$45.454,00
Economia / ano	-	R$1.293,00	R$2.801,00
Investimento	-	Novos motores R$13.000,00	Adaptações mecânicas R$7.000,00 (5 linhas de produção)
Taxa de juros a.a.	1,16		
Tempo de retorno sobre investimento	-	Tempo maior que 5 anos, tornando inviável o investimento	Investimento pago após 4 ano.

Fonte: elaborado pelo autor.

[1] A potência aparente dos motores redimensionados deverá levar em conta a taxa de subcarga, para, então, analisar os dados no gráfico de desempenho e efetuar os cálculos necessários.

[2] Para calcular o consumo anual, foi utilizada a fórmula de consumo de energia, acrescida do número de motores na instalação e da quantidade de meses para a base do cálculo ser dada em anos: $E = P_a \times N_{h/d} \times N_{d/m} \times N_{Motores} \times 12$ [kWh].

Avançando na prática

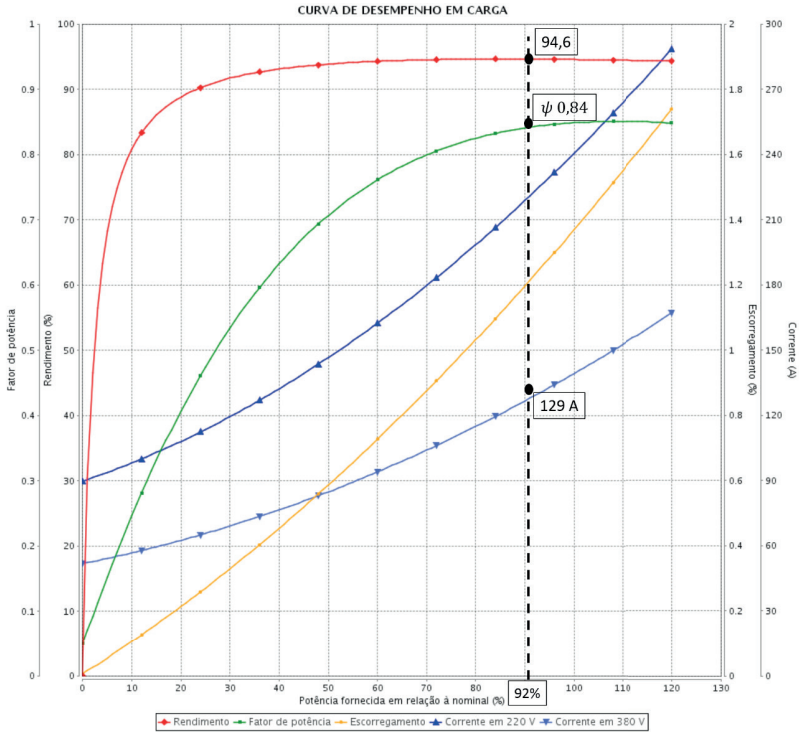
Análise para substituição de motores antigos por motores de alto rendimento

Descrição da situação-problema

Uma empresa de fabricação de tijolos implantou um software de gerenciamento de manutenção que está proporcionando ao supervisor de manutenção uma análise mais detalhada dos equipamentos com maior número de ordens de serviço. Após realização das análises, ele detectou que a máquina responsável pela transformação da argila no molde de tijolo, chamada de maromba, apesar de apresentar uma taxa de subcarga relativamente alta, 92%, tem um motor trifásico de 100 cv muito antigo, cuja placa de identificação informa que o rendimento é de 0,892 e o fator de potência é de 0,82, quando ligado em 380 V. Além destes dados, sabe-se que a máquina opera uma média de 5800 horas por ano com um custo de tarifa de R$ 0,23 o kWh da concessionária.

Para a aquisição do novo motor, terá de ser investido R$ 17.500,00 com juros de 16% ao ano. No catálogo do fabricante é apresentado o gráfico de desempenho do motor, como mostrado na Figura 4.3 para a mesma taxa de subcarga do motor atual na máquina.

Figura 4.3 | Gráfico de desempenho: motor 100 cv - alto rendimento para maromba



Fonte: elaborada pelo autor.

Deseja-se saber o tempo de retorno caso optem pela substituição dos motores.

Resolução da situação-problema

Para calcular o tempo de retorno quando se têm os motores corretamente dimensionados, iremos levar em conta a diferença do rendimento e o custo de operação para o custo da nova aquisição, chegando à fórmula $T_{retorno} = \frac{C_{novo}}{0,736 \times P_{nm} \times N_{h/a} \times C_{kWh} \times \left(\frac{100}{\eta_{atual}} - \frac{100}{\eta_{novo}} \right)}$, em que:

- Cnovo: custo do motor novo de alto rendimento, em R$.
- Pnm: potência nominal do motor, em cv.
- $N_{h/a}$: número médio de horas de operação do motor.
- CkWh: custo médio da tarifa de energia consumida, em R$/kWh.
- η_{atual} : rendimento do motor atual.
- η_{novo} : rendimento do motor novo.

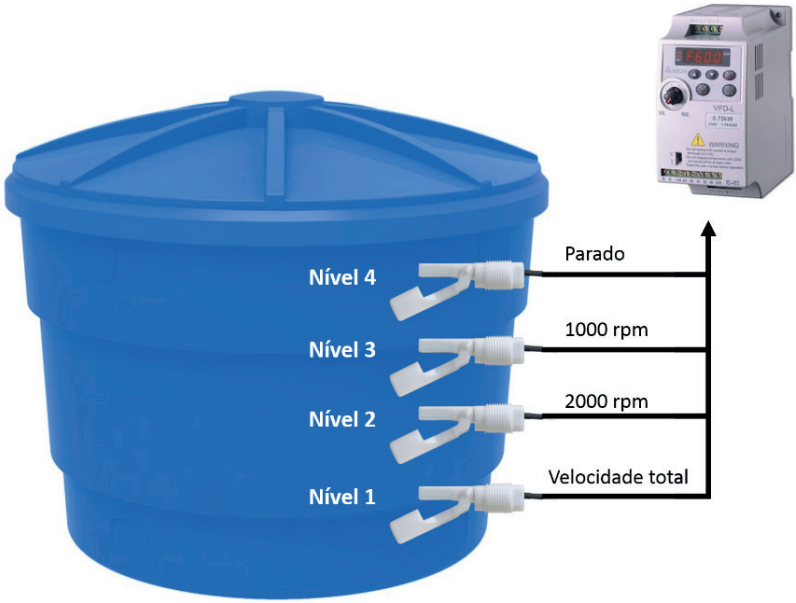
Atribuindo os valores na fórmula, é possível encontrar o tempo de retorno, sendo:

$$T_{retorno} = \frac{17500}{0{,}736 \times 100 \times 5800 \times 0{,}23 \times \left(\frac{100}{89{,}20} - \frac{100}{94{,}6}\right)} = 2{,}79 \text{ anos}$$ ou 33,5 meses.

Faça valer a pena

1. O encarregado da empresa Puro Cacau solicitou ao técnico de projetos eletroeletrônicos que desenvolvesse um controle mais eficiente no enchimento dos tanques. Atualmente, a partida é direta com dois sensores de nível tipo boia para indicar os níveis mínimo e máximo. A sugestão é que a velocidade da bomba aumente ou diminua conforme os sensores de níveis atuado, tendo ao todo quatro sensores instalados, conforme ilustrado na figura. Após uma pesquisa sobre as formas de controle, levando em conta o custo e a eficiência, o técnico decidiu implantar um conversor de frequência escalar com os sensores conectados a suas entradas digitais. A bomba é um motor trifásico de 10 cv, 2 polos, energizado em 220 Vca, cuja frequência de alimentação é de 60 Hz.

Figura | Sinótico do tanque com controle por nível



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao fazer a parametrização do conversor para múltiplas velocidades, conforme o nível em que se encontra o tanque, é necessário inserir os dados em valores de frequência. Qual alternativa melhor apresenta os valores de tensão e frequência, iniciando pelo nível 1, para que se tenha as velocidades conforme ilustrado na figura?

a) Nível 1: 60 Hz e 0 V; Nível 2: 33,33 Hz e 122,32 V; Nível 3: 16,67 Hz e 61,18 V; Nível 4: 0 Hz e 220 V.
b) Nível 1: 60 Hz e 220 V; Nível 2: 16,67 Hz e 61,18 V; Nível 3: 33,33 Hz e 122,32 V; Nível 4: 0 Hz e 0 V.
c) Nível 1: 60 Hz e 220 V; Nível 2: 33,33 Hz e 122,32 V; Nível 3: 16,67 Hz e 61,18 V; Nível 4: 0 Hz e 0 V.
d) Nível 1: 0 Hz e 0 V; Nível 2: 33,33 Hz e 122,32 V; Nível 3: 16,67 Hz e 61,18 V; Nível 4: 60 Hz e 220 V.
e) Nível 1: 60 Hz e 220 V; Nível 2: 16,67 Hz e 61,18 V; Nível 3: 33,33 Hz e 122,32 V; Nível 4: 0 Hz e 220 V.

2. O gerente operacional de uma empresa de móveis contratou um técnico para fazer o projeto de eficiência energética das máquinas e dos sistemas de exaustão. Após realização das análises, foram levantados os seguintes dados:

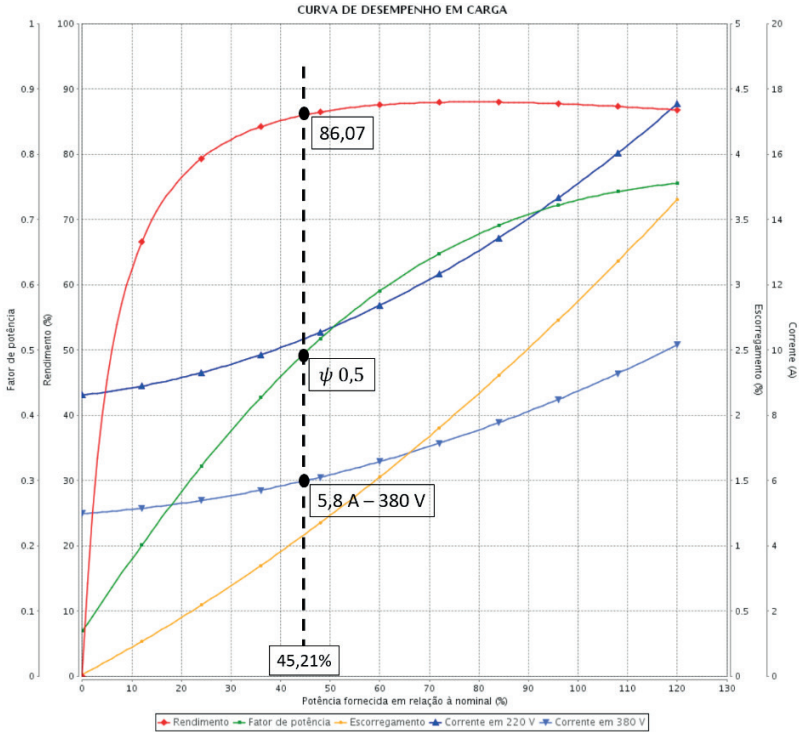
- Com os motores antigos, o custo da energia é de R$ 43.821,15 ao ano.
- Os motores antigos, se forem utilizados como troca para aquisição de novos, poderão abater até 10% do valor de investimento.
- Os motores novos apresentaram, nos cálculos, um custo de energia em torno de R$ 38.524,00 ao ano.
- O investimento nos novos motores será de R$ 16.000,00 com juros de 12% ao ano.

Levando em conta o cálculo de valor presente líquido, $F_{ac} = \sum_{T=0}^{N} \frac{F_c}{(1+I_r)^T}$, qual alternativa apresenta o ano em que o investimento será pago e qual o lucro resultante?

a) Ano 4 e lucro de aproximadamente R$ 89,00.
b) Ano 5 e lucro de aproximadamente R$ 4.695,00.
c) Ano 5 e lucro de aproximadamente R$ 1.495,00.
d) Ano 4 e lucro de aproximadamente R$ 1.689,00.
e) Ano 5 e lucro de aproximadamente R$ 3.095,00.

3. Deseja-se encontrar a potência útil do motor que está instalado na esteira de dosagem de uma indústria frigorífica, pois o técnico responsável pela manutenção realizou algumas medições durante 24 horas e obteve como resultado o gráfico de desempenho ilustrado na figura. Caso não tenha diferença, irá adquirir um motor idêntico a esse, 5 cv, trifásico, 380 V, 6 polos, 12,8 A, e instalá-lo na nova linha de produção; do contrário, irá adquirir novos motores com as novas potências calculadas.

Figura | Gráfico de desempenho: motor 5 cv esteira de dosagem



Fonte: elaborada pelo autor.

Marque a alternativa que apresenta o valor de potência útil do motor variando de 10% a 30% para esta análise.

a) 2,21 cv a 2,48 cv.
b) 2,45 cv a 2,89 cv.
c) 4,63 cv a 5,47 cv.
d) 5,4 cv a 6,4 cv.
e) 2,92 a 4,36 cv.

Seção 4.2

Dimensionamento e características dos conversores de frequência

Diálogo aberto

Lembra do projeto promovido pela companhia Uni Tecidos S.A. para redução de custos, reprocesso e desperdício, no qual você atua como técnico de desenvolvimento dos setores eletrotécnico e mecatrônico? Agora, você e sua equipe estão verificando novamente os dados coletados da análise de energia da máquina de recobrimento de elástico, para verificar os efeitos da modificação proposta, de dois motores para um motor; contudo, percebem que há picos de corrente elétrica em curto espaço de tempo, de 14 a 17 picos por hora de trabalho. Outro ponto importante a ser resolvido é o tempo de partida, em torno de 30 segundos, e a corrente de partida chegando até 120 A, ligados em 380 V.

Reunindo a equipe, você é questionado sobre como poderia ser parametrizado o conversor para que o motor não seja ligado e desligado a todo momento: e se o conversor de frequência possuísse recursos para controlar o tempo de partida?

No decorrer dos nossos estudos, você terá acesso aos conteúdos e temas importantes para a solução deste problema. Iniciamos a seção abordando proteções necessárias aos conversores de frequência e motores em relação às falhas mais frequentes, sejam internas ou externas. Em seguida, iremos aprender a dimensionar o conversor, tendo como base o trabalho realizado e a potência do motor, finalizando a seção com as configurações importantes para o funcionamento dele e com alguns pontos relevantes para a instalação dos conversores de frequência.

Bons estudos.

Não pode faltar

Proteções necessárias para o acionamento de motores elétricos por conversores de frequência

O conversor de frequência é incorporado ao motor e a proteções, para seu próprio circuito eletrônico, as quais são contra curtos-circuitos entre fases ou terra, sobretensões, subtensões, desbalanceamento de fases e falta de fase. Muitas dessas proteções são implementadas via parametrização ao microprocessador do equipamento, ou seja, por *software*, e outras por instalações físicas de peças e medidores ao conversor de frequência.

Além das configurações de parâmetros ao modo de controle e proteção, também é possível fazer a leitura das falhas e diagnósticos pelo conversor de frequência. Alguns modelos possuem um *display* alfanumérico que apresentará uma mensagem ou código do *status*, outros possuem sinalizações luminosas por *leds* e os mais atuais, *display* gráfico para interface com o operador. Estes displays, não importando o nível de tecnologia, são chamados de IHM (Interface Homem-Máquina) do conversor de frequência.

Independentemente de como serão apresentadas as falhas, saber interpretar e solucionar tais problemas é um dos pontos-chaves e poderá reduzir o tempo de parada quando se utilizam recursos de diagnósticos, a fim de estudar a periodicidade com que acontecem para delinear formas de eliminá-las. O Quadro 4.4 apresenta um panorama geral das falhas que poderão ocorrer.

Quadro 4.4 | Proteção e falhas nos conversores de frequência

Falha	Causa interna	Causa externa
Sobretensão	Tempo de desaceleração muito rápido.	Tensão de alimentação muito elevada, pico de tensão.
Subtensão	Falha na fonte de alimentação interna.	Tensão de alimentação muito baixa, queda de tensão nos cabos de alimentação.
Sobrecorrente	Falha nos circuitos de potência, falha no *driver* de controle.	Curto-circuito no motor ou no cabo.

Sobrecarga Térmica	Falha no circuito interno do inversor.	Sobrecarga no motor, ou rotor bloqueado.
Falha para terra	Fuga interna para a terra no inversor.	Fuga para terra no cabo ou no motor.
Sobretemperatura	Exaustor do inversor em falha ou dissipador de calor obstruído.	Falta de ventilação no painel elétrico.
Desligamento por termistor		Proteção de temperatura (termistor) do motor acionado.

Fonte: adaptado de Franchi (2009, p. 130).

Podendo estas falhas ocorrer na fonte de alimentação, barramento CC, motor, em razão da má parametrização dos tempos de rampa e variáveis de processo, instalações incorretas, etc.

Assimile

Sabemos que os efeitos causados pela temperatura excessiva nos motores, causada quando a corrente de carga excede o valor máximo ou por sobrecarga térmica, podem danificar a isolação permanentemente. Um dos meios de garantir que essa situação não ocorra é fazer as medições indiretas por relés de sobrecarga, não muito eficiente para motores de grande porte, e medições diretas por sensores de temperatura colocados em "pontos quentes" do motor.

A medição direta de temperatura é recomendada para motores nos seguintes casos:

- Motores de indução com gaiola de esquilo acionados por inversor de frequência.
- Motores CA que têm frequentes sobrecargas.
- Motores CA que são frequentemente parados ou partidos.
- Motores CA com grande inércia e longos tempos de partida.
- Motores CA em aplicações em que o rotor pode ser bloqueado.
- Motores CC controlados por conversores CC.

Apesar de terem estas proteções, é importante adicionar os dispositivos de proteção ao circuito em geral, os quais também irão proteger o conversor e o motor elétrico. Estas proteções externas são, em grande parte, disjuntores ou fusíveis do tipo ultrarrápidos. Quando se utilizam catálogos ou manuais de fabricantes para selecionar o modelo do conversor de frequência, por exemplo, já é indicado qual o dispositivo de proteção e informada a faixa de valores em termos de corrente nominal. Pela norma IEC 60947 – Dispositivos de manobra e controle de baixa tensão, estes dispositivos de proteção deverão cumprir certos requisitos, como não apresentar risco às pessoas e instalações, não ocorrer perda de ajustes nos equipamentos após desligamento, manter isolação dos condutores e dispositivos e voltar a operar após eliminação da causa.

Dimensionamento dos conversores de frequência

O dimensionamento a ser realizado para seleção dos conversores de frequência é simples quando se opta por seguir as recomendações do catálogo do fabricante, que são genéricas, ou seja, não visam a uma única aplicação e também não são consideradas as características da carga acionada. Os erros ao configurar o equipamento, no que tange à parametrização e ao controle, podem comprometer o correto funcionamento dele, assim como pela incorreta seleção do motor elétrico e do próprio conversor de frequência.

Antes de determinar as características do conversor, é necessária a seleção do motor elétrico observando os seguintes pontos:

- A velocidade final máxima do motor na aplicação deverá ser próxima à velocidade base dele, ou seja, ao número de polos, pois desta forma ele vai operar com uma frequência próxima à nominal, mantendo uma ventilação eficiente e a redução do ruído provocado pela velocidade acima da frequência nominal do motor.
- O torque é proporcional ao número de polos: quanto maior o número de polos, maior o torque, reafirmando ainda mais a escolha correta do número de polos próximo ao demandado na aplicação.
- Para que o motor não se aqueça e se mantenha dentro dos limites de temperatura, é recomendado que os torques

de partida para carga, de aceleração e de trabalho estejam dentro da capacidade nominal do torque do motor.

- As cargas com torque variável, por exemplo, bombas centrífugas e ventiladores, possuem uma relação torque e velocidade, limitando o valor máximo de torque quando se atinge a frequência nominal do motor, em seguida a uma caída devido ao enfraquecimento do campo.
- Já as cargas de torque constantes, usadas em esteiras e bombas de deslocamento positivo, possuem o inconveniente de terem o torque de partida praticamente igual ou maior àquele em plena carga. Quando em baixa velocidade, provocam o aquecimento do motor, e em altas velocidades provocam um excesso de escorregamento e consequentemente a possibilidade de travar o eixo do motor.
- Motores de alta potência demandam conversores de frequência muito grandes, o que eleva o custo de aquisição. Uma prática para torná-los mais viáveis economicamente é usar tensões elevadas, desde que disponíveis na rede elétrica de alimentação.
- A frequência da rede de alimentação deverá ser de valor conhecido e fixo, para evitar problemas com os circuitos eletrônicos do conversor e com as parametrizações de controle e dados de carga.
- Velocidades de saída do motor abaixo da frequência nominal reduzem a capacidade de ventilação e provocam o aquecimento; velocidades de saída acima da frequência nominal reduzem o fluxo e provocam a redução do torque. Caso o torque da carga seja maior que o do motor, o eixo travará.
- É preciso ter conhecimento do torque de carga e da faixa de velocidade necessários para a aplicação e ,então, determinar a potência do motor pela equação $P_{motor} = \frac{\text{Torque[N.m]} \times \text{Velocidade[rpm]}}{9550}[kW]$.
- O inversor nunca deverá ser utilizado com um motor maior daquele para o qual está dimensionado, pois, mesmo com pouca carga, o que diminuiria a corrente de pico, suas correntes harmônicas seriam elevadas.

- Geralmente os inversores possuem fator de potência, $\cos\phi$ igual a 0,8, porém deverão ser consultados os catálogos de fabricantes, principalmente quando forem aplicados em projetos de eficiência energética.
- A corrente dos conversores de frequência pode ser definida através da potência do motor (P), das condições de operação do conversor, da tensão de rede (V) e do fator de potência $\cos\phi$, determinando-a pela equação $I_{inversor} = \frac{P}{V \times \cos\phi}[A]$.

Reflita

Todo equipamento de controle apresenta perdas no sistema elétrico. No caso dos conversores de frequência, por atuarem na produção de uma onda modulada em PWM, sabe-se que não são um senoidal perfeito, e o resultado disso é uma perda de potência no motor na faixa de 15%. O que devemos observar e fazer, caso sejam implementados os conversores em motores já instalados?

Configurações dos conversores de frequência para acionamento de motores elétricos

As configurações necessárias para que o conversor de frequência faça o acionamento do motor são definidas por parâmetros e ligações.

Os parâmetros serão configurados através da IHM, Interface Homem-Máquina, na qual o operador poderá entrar com os valores correspondentes à aplicação ou verificar os dados de operação. Basicamente, os parâmetros se dividem nos grupos:

- Parâmetros de leitura: variáveis que podem ser somente visualizadas no display, não podendo ser alteradas pelo usuário, pois são dados de operação do conversor e do motor elétrico, como a verificação de diagnósticos de falha, corrente de trabalho, velocidade em que o motor se encontra, etc.
- Parâmetros de regulação: são as variáveis que permitem ajustes para que o conversor atue sobre o motor com os valores inseridos, por exemplo, tensão de partida, tempo de

rampa de aceleração e de desaceleração, etc.

- Parâmetros de configuração: definem as características do conversor de frequência, as funções a serem executadas, bem como as entradas e saídas, por exemplo, parâmetros dos relés de saída e de entrada.
- Parâmetros do motor: indicam as características nominais do motor, como ajuste da corrente do motor, fator de serviço, tensão nominal, entre outras.

As ligações correspondem às entradas e saídas que poderão ser utilizadas na aplicação através dos circuitos eletrônicos dos conversores, sendo:

- Entradas e saídas analógicas: são os meios de controlar e monitorar a carga acoplada ao conversor por meio de sinais eletrônicos analógicos, ou seja, sinais cujos valores variam no tempo, isto é, sinais como tensão elétrica, geralmente de 0 a 10 Vcc, ou em corrente, podendo ser de 0 a 20 mA ou o mais comum de 4 a 20 mA, permitindo o controle de velocidade (entrada) e as leituras de corrente ou velocidade (saída).
- Entradas e saídas digitais: são os meios de controlar e monitorar a carga acoplada ao conversor por meio de sinais digitais, ou seja, sinais discretos, como chaves liga/desliga. Esse tipo de controle permite o acesso a funções simples, como seleção de sentido de rotação, girar e parar, seleção de velocidades, etc.
- Interface de comunicação: meio de comunicação que permite o controle e monitoramento a distância do conversor por um computador central. Essa comunicação é executada diretamente ou através de redes contendo vários conversores em um único computador ou CLP, por redes *field bus*, RS232, RS485, *ethernet* TCP/IP, entre outros.

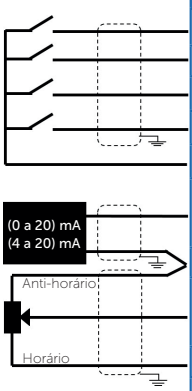
Pesquise mais

Cada conversor de frequência possui formas diferentes de ser parametrizado. Há conversores com poucas funções especiais e modos de controle simples, bem como conversores com conexão para redes industriais, tornando o processo mais automatizado.

Ao longo desta unidade, serão trabalhados os exemplos em relação ao conversor desenvolvido pela fabricante brasileira WEG, adotando o modelo CFW10, em razão da simplicidade de parametrização e disponibilidade de recursos. Recomendam-se a leitura e utilização do manual de operação deste conversor ao estudar as seções e solucionar as situações-problema apresentadas. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw10-manual-do-usuario-0899.5860-2.xx-manual-portugues-br.pdf>.

A Figura 4.4 ilustra a conexão das entradas em um conversor de frequência fabricado pela empresa WEG, modelo CFW-10 com as indicações de parâmetros.

Figura 4.4 | Descrição das entradas e dos parâmetros do conversor de frequência CFW-10 WEG



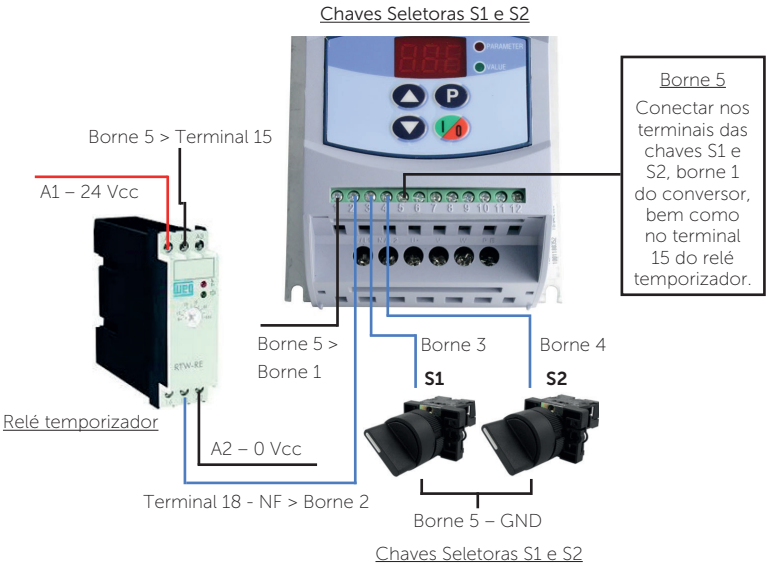
Conector XC1		Descrição	Especificações
1	DI1	Entrada digital 1	4 entradas digitais isoladas. Nível alto mínimo: 10 Vcc. Nível alto máximo: 30 Vcc. Nível baixo máximo: 3 Vcc. Corrente de entrada: -11 mA. Corrente de entrada máxima: -20 mA.
2	DI2	Entrada digital 2	
3	DI3	Entrada digital 3	
4	DI4	Entrada digital 4	
5	GND	Referência 0V	Não interligado com o PE.
6	AI1	Entrada analógica 1 (corrente)	Em corrente de 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA. Impedância: 500 Ω. Resolução: 7 bits.
7	GND	Referência 0V	Não interligado com o PE
8	AI1	Entrada analógica 1 (tensão)	Em tensão de 0 a 10 Vcc, máximo de 30 Vcc. Impedância: 100 kΩ. Resolução: 7 bits.
9	+10V	Referência para potenciômetro	+10 Vcc, ±5%, capacidade: 2mA.
10	NF	Contato fechado do relé 1	Capacidade dos contatos: 0,5 A / 250 Vca 1,0 A / 125 Vca 2,0 A / 30 Vcc
11	COMUM	Ponto comum do relé 1	
12	NA	Contato aberto do relé 1	

Fonte: WEG (2013, p. 34).

Exemplificando

Após a instalação do conversor de frequência, modelo CFW-10 da WEG, na máquina de mistura, é necessária configuração dos parâmetros para que o motor possa funcionar corretamente. A Figura 4.5 ilustra as ligações feitas no conversor.

Figura 4.5 | Aplicação do CFW-10



Fonte: elaborada pelo autor.

Espera-se que a aplicação funcione quando a chave seletora S2 for acionada, o motor deverá ligar no sentido horário, CW; caso contrário, o motor deverá parar. Quando o temporizador finalizar a contagem dos 30 s, a máquina deverá misturar para o outro lado, sentido anti-horário, CCW. Considerando que a chave S1 esteja na posição automático, caso em modo manual, o controle será feito pelas teclas na própria IHM do conversor.

O Quadro 4.5 apresenta os parâmetros e ajustes necessários para que o CFW-10 acione o motor dentro das premissas de controle.

Quadro 4.5 | Parametrização e ajustes no CFW-10

Ação	Terminal	Parâmetro	Ajustes
Chave S1 – Modos manual e automático	3 – DI3	P265	6
Chave S2 – Liga e desliga o motor	4 – DI4	P266	4

Relé temporizador – Sentido de giro, CW e CCW	2 – DI2	P264	5
Habilitar conversor para funcionamento	1 – DI1	P263	1

Fonte: elaborado pelo autor.

Pontos importantes para instalação dos conversores de frequência

A instalação dos conversores de frequência é simples, porém devem ser cumpridos alguns requisitos para que o funcionamento esteja correto e sem perturbações ambientais ou geradas pelos sistemas elétricos, como as interferências ocasionadas pelo efeito capacitivo, temperatura externa, taxas altas de distorções harmonias, erros de ligação, entre outras.

Categorizando estas perturbações e o que poderá ser feito para minimizá-las ou eliminá-las, temos:

- Reatância de rede: apesar de reduzir a tensão de alimentação em 3%, aproximadamente, soluciona o problema da variação de capacitância provocado pelo banco de capacitores ao corrigir o fator de potência, reduz a taxa de harmônicas entre rede de alimentação e conversor de frequência e conserva o bom funcionamento dos circuitos de potência na entrada.
- Supressores de ruídos elétricos: caso sejam instalados contatores perto e na mesma rede dos conversores, recomenda-se a utilização dos supressores de transientes para evitar qualquer radiação eletromagnética, podendo ser circuitos RC nas bobinas de corrente alternada ou diodos nas bobinas de corrente contínua.
- Aterramento: é de extrema importância e necessidade o aterramento quando se instalam conversores de frequência, e para um bom aterramento a resistência deverá ser menor que $5\,\Omega$, norma IEC 536, e deverão ser aterrados o conversor de frequência, o motor, a blindagem dos cabos, a máquina, o painel elétrico, a estrutura metálica na qual os

cabos são lançados e qualquer outra parte metálica próxima ao conversor.

- Relés de sobrecarga: quando se utiliza mais de um motor sendo acionado pelo mesmo conversor de frequência, deverá ser instalado um relé de sobrecarga para cada um, com ajuste 10% maior do que a corrente nominal, pois os conversores operam em altas frequências e poderão provocar um disparo nos relés.
- Reatância de carga: assim como nas reatâncias de rede, estas visam eliminar os efeitos das correntes de fuga produzida pelo efeito capacitivo em razão do comprimento dos cabos entre conversor e motor e sobretensões no motor pelas ondas refletidas.
- Ventilação: em casos de conversores grandes ou painéis elétricos com muitos componentes, é preciso a instalação de um sistema de ventilação ou exaustão para evitar o aquecimento desnecessário; nos de menor potência, o exaustor interno do próprio conversor deverá ficar próximo dos orifícios com ventilação.

Outras observações com relação à instalação são:

- Separação dos cabos de sinal e de potência com, no mínimo, 20 cm entre eles.
- Equipamentos sensíveis a interferências eletromagnéticas, como os controladores lógicos, deverão ficar afastados, no mínimo, 25 cm dos elementos de carga, como conversores, motor, filtros e reatâncias.
- Instalação de um contator na entrada do conversor, impedindo seu acionamento automático após uma situação de emergência.
- Se forem utilizados cabos não blindados, comuns nos sensores, deverão ser trançados para evitar exposição à radiação eletromagnética.
- Utilizar cabos de comunicação em rede industrial para outros equipamentos ou computador, sempre no menor tamanho possível.

Pesquise mais

Os temas que envolvem as boas práticas para instalação dos conversores de frequência e sua operação são amplos e demandam estudo contínuo.

Para elucidar a importância do estudo de harmônicas nas redes em que os conversores são instalados, são facilmente encontrados, nos sites de busca, pesquisas e projetos com essa tratativa.

A fabricante de motores e conversores de frequência WEG possui uma biblioteca com diversos artigos e guias muito enriquecedores. Recomenda-se a leitura do capítulo 5.1 sobre o tema de harmônicas. São somente duas páginas, 8 e 9, do guia técnico sobre motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM, disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-50029351-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>.

Sem medo de errar

Dentro do projeto promovido pela companhia Uni Tecidos S.A. para redução de custos, reprocesso e desperdício, no qual você atua como técnico de desenvolvimento dos setores eletrotécnico e mecatrônico, você e sua equipe, após análises de energia nas máquinas, redimensionaram os motores que estavam trabalhando com subcargas no processo de recobrimento de elástico, gerando uma economia de R$ 2.800,00 ao ano, com retorno ao investimento após cerca de 4 anos. Apresentados tais dados aos gestores da companhia, foi validada a substituição de dois motores para apenas um.

Antes de implementar o novo projeto, você e sua equipe retornam aos dados coletados da análise de energia para verificar os efeitos desta modificação em termos de produção, contudo percebem que há picos de corrente elétrica em curto espaço de tempo, de 14 a 17 picos por hora de trabalho.

Outro ponto importante a ser resolvido é o tempo de partida, em torno de 30 segundos, e a corrente de partida chegando até 120 A, ligados em 380 V.

Reunindo a equipe, você é questionado sobre como poderia ser parametrizado o conversor para que o motor não seja ligado e

desligado a todo instante. E se o conversor de frequência possuísse recursos para controlar o tempo de partida?

Foi verificado junto aos operadores o motivo do frequente liga e desliga dos motores, 14 a 17 em 1 hora. A justificativa é que, por causa da variação do volume de produção, eles desligam a máquina por um tempo pequeno até ter uma proporção maior do material de entrada; então, ligam-na novamente, repetindo esse mau procedimento durante o dia. Com isso, podemos entender que seria mais prudente deixar os motores em baixa velocidade, com torque constante, e quando pressionado um botão, a ser implantado, a velocidade aumentaria, trabalhando na faixa de 30% e 100% de rotação. Além disso, no catálogo dos fabricantes há recomendações sobre a quantidade de acionamento por hora para cada componente ou dispositivo, por exemplo, para os contatores são recomendadas 15 partidas por hora.

E, ao parametrizar os conversores para partida dos motores, definir o tempo de partida, para que não prejudique a vida útil do motor com tempo de rotor bloqueado maior.

Para facilitar, utilizaremos o catálogo do fabricante de motores, que informa sobre o tempo de rotor bloqueado.

O Quadro 4.6 apresenta os parâmetros e ajustes necessários para que o conversor de frequência da WEG, CFW-10, acione o motor dentro das duas velocidades, 30% e 100%, e a partida estará dentro do tempo recomendado pelo fabricante do motor.

Quadro 4.6 | Parametrização e ajustes no CFW-10

Ação	Parâmetro	Ajustes	Observações
Tempo de aceleração e desaceleração para o motor de 10 cv. Obs.: Conforme o catálogo, tem-se o tempo de rotor bloqueado em 21 s para frio e 12 s para quente.	P100 e P101	6.0 s	• Este parâmetro define o tempo para acelerar e desacelerar linearmente. • A frequência nominal é definida pelo parâmetro P145.

Botão para mudança de velocidade para comutação das velocidades de 30% e 100%, DI4.	P266	7	• Função *multispeed* atribuída a entradas digitais. • Demais entradas funções de entrada, P265 a P268, ajuste em 0 – sem função.
Velocidade de 30% da frequência nominal para botão não pressionado, ou seja, aberto.	P124	18 Hz.	• O *multispeed* é utilizado quando se deseja até 8 velocidades fixas, pré-programadas através dos parâmetros e combinação lógica das entradas digitais.
Velocidade de 100% da frequência nominal para quando o botão for pressionado, ou seja, fechado.	P125	60 Hz.	
Atribuição da referência de *multispeed* para a seleção via chave (remoto).	P122	6	• Função *multispeed*.
	P230	1	• Bornes de entrada.

Fonte: elaborado pelo autor.

Avançando na prática

Configurando dados do motor elétrico no conversor de frequência CFW10

Descrição da situação-problema

Recentemente, a empresa Doce Balas adquiriu um conversor de frequência para implementar na batedeira industrial, com a finalidade de melhorar o desempenho de produção. O eletricista contratado não conseguiu parametrizar os dados do motor, por este motivo a empresa contratou um técnico para realizar tal serviço. Os dados do motor estão ilustrados Quadro 4.7.

Quadro 4.7 | Dados do motor WEG W22 IR3 Premium Trifásico de 3 cv

Descrição	Valores	Descrição	Valores
Carcaça	90L	Tempo rotor bloqueado	18s (frio) 10s (quente)
Potência	2.2 kW (3 HP-cv)	Momento de inércia (J)	0.0063 kgm²

Número de polos	4	Categoria	N
Frequência	60 Hz	Classe de isolamento	F
Rotação nominal	1735 rpm	Fator de serviço	1.15
Escorregamento	3.61%	Elevação de temperatura	80 K
Tensão nominal	220/380 V	Regime de serviço	S1
Corrente nominal	8.18/4.74 A	Método de partida	Partida direta
Corrente de partida	53.2/30.8 A	Temperatura ambiente	-20°C a + 40°C
Ip/In	6.5	Altitude	1000 m
Corrente a vazio	4.20/2.43 A	Grau de proteção	IP55
Conjugado nominal	1.24 kgfm	Refrigeração	IC411 - TFVE
Conjugado de partida	195%	Forma construtiva	B14D
Conjugado máximo	250%	Sentido de rotação[1]	Ambos

Fonte: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Uso-Geral/W22/W22-IR2/W22-IR2-3-cv-4P-90L-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B14D/p/11376498>. Acesso em: 10 jan. 2018.

Resolução da situação-problema

Em posse do manual do conversor de frequência, modelo CFW10, o técnico faz a energização do equipamento e inicia o processo de parametrização, começando com o desbloqueio do acesso através do parâmetro P000 com ajuste em 5. Por ser a primeira energização, o conversor já vem com valores de fábrica pré-programados; caso contrário, é recomendável acessar o parâmetro P204 e ajustar o valor para 5, reprogramando dessa forma todos os parâmetros para os valores-padrão de fábrica.

Depois, ele ajusta o parâmetro P295, corrente nominal, para 8,18 A em razão de a tensão de alimentação ser de 220 V. Em outros modelos de conversores também são inseridos dados nominais do motor, como rendimento, tensão, velocidade, frequência, potência e fator de potência.

Faça valer a pena

1. A empresa de embalagens gostaria de adquirir um conversor de frequência para controlar a velocidade com que a máquina de corte vertical atua sobre os plásticos-bolhas. O motor instalado é de 5 cv, apresentando uma velocidade final e ideal para o corte de 1500 rpm, sendo acionado e mantido na velocidade pelo conjunto de resistência da aceleração rotórica. O técnico recomendou um inversor cuja saída é de 16 A, pois o motor de 5 cv ligado em rede de 220 V trifásico consome uma corrente de aproximadamente 15 A.

Fazendo uma análise mais detalhada da carga, foi detectado que o torque de trabalho, incluindo o torque de partida, estava em torno de 20 kNm. Qual a alternativa que melhor apresenta o dimensionamento para escolha do conversor de frequência?

a) 11 A.
b) 13 A.
c) 16 A.
d) 18 A.
e) 21 A.

2. O conversor de frequência possui sistemas de proteção interna contra curto-circuito, falha a terra, entre outras. O uso de dispositivos de proteção externa é muito recomendado para proteção do equipamento e do motor. Conforme o texto acima, avalie as seguintes asserções e a relação proposta entre elas.

I. Uma das falhas internas de sobretensão é ocasionada pelo tempo de desaceleração muito rápido.
PORQUE
II. A sobrecorrente também é resultado da tensão de alimentação muito baixa ou da queda de tensão nos cabos de alimentação alta.

A respeito dessas asserções, assinale a alternativa que apresenta a resposta correta.

a) As asserções I e II são proposições falsas.
b) A asserção I é uma proposição verdadeira, e a II é uma proposição falsa.
c) A asserção I é uma proposição falsa, e a II é uma proposição verdadeira.

d) As asserções I e II são proposições verdadeiras, e a II é uma justificativa da I.
e) As asserções I e II são proposições verdadeiras, mas a II não é uma justificativa da I.

3. O projeto de acionamento para os motores das esteiras transportadoras de chapas de MDF contempla os conversores de frequência no controle e monitoramento dos motores. Algumas recomendações foram utilizadas para justificar o investimento com relação aos dispositivos de proteção.

Nesse contexto, considere as afirmativas a seguir:

I. Instalação de reatâncias na entrada para redução de prováveis harmônicas na entrada do conversor.
II. Utilização de supressores de ruídos elétricos para evitar interferência eletromagnética dos disjuntores.
III. Instalação de reatâncias na saída do conversor visando eliminar os efeitos das correntes de fuga produzidos pelo efeito capacitivo em razão do comprimento dos cabos entre conversor e motor.
IV. Os cabos deverão ser separados por fases e tensões, sendo uma bandeja para fase 1, outra bandeja para fase 2, outra para fase 3 e uma última para os cabos com tensões de controle.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, sendo V para verdadeiro e F para falso.

a) V – F – V – F.
b) V – V – V – F.
c) V – F – F – F.
d) F – V – F – V.
e) F – F – V – F .

Seção 4.3

Aplicação dos conversores de frequência

Diálogo aberto

Retornando ao projeto da companhia Uni Tecidos S.A., redução de custos, você e sua equipe, após todas as análises e pequenas intervenções, decidem desenvolver o projeto final para a máquina de recobrimento de elástico. A fim de melhorar momentaneamente o funcionamento da máquina, na última implementação, vocês configuraram o motor para funcionar somente em duas velocidades, 30% e 100%, controladas pelo botão instalado na entrada DI4.

Durante o desenvolvimento do projeto final para acionamento do motor e elaboração da lista de parâmetros para configurar o conversor de frequência, você e sua equipe fazem uso do manual do equipamento e da placa de identificação do motor. Imagine que sua equipe esteja com dúvida e o questione sobre quais dados do motor serão necessários para configurar o conversor de frequência e se ele possui entradas disponíveis para a instalação dos sensores conforme o projeto, no qual são necessários cinco níveis de velocidade. Será possível viabilizar este projeto e desenvolver a parametrização no conversor?

Com o estudo desta seção, dos exemplos e com os conhecimentos das unidades anteriores, você será capaz de desenvolver o projeto de acionamento e solucionar os problemas levantados pela equipe. Iniciamos a seção com os conceitos de rampa de aceleração e desaceleração, bem como a parametrização necessária para o correto funcionamento. Depois, estudaremos as técnicas de controle local e remoto, e em seguida a configuração do controle de multivelocidades de um motor. Finalizando a seção, conheceremos outra forma de controlar a velocidade do motor, com sinais analógicos vindos de sensores ou potenciômetros.

Bons estudos.

Não pode faltar

O conversor de frequência a ser utilizado para exemplificar as aplicações descritas nesta seção será o modelo fabricado e desenvolvido pela empresa brasileira WEG. O modelo em questão é o CFW10, conversor pequeno, que controla motores de 1,6 A até 15,2 A, dependendo da tensão de alimentação. Há modelos de conversor em que a tensão de alimentação poderá ser monofásica de 110 V a 127 V, ou de 200 V a 240 V, e outros que demandam entrada com tensão trifásica. As demais características para especificação abrangem os opcionais, por exemplo, resistência de frenagem, potenciômetro no *display* de parametrização, entradas e saídas externas para comando digital e analógico, etc.

Assimile

Duas considerações importantes devem ser observadas ao instalar e parametrizar os conversores de frequência. A primeira é que, quando se tratar de equipamentos já instalados e em operação, é quase certo que possuam uma parametrização, configuração, para o funcionamento do motor conforme a aplicação. Caso você seja solicitado a inserir ou modificar algum parâmetro, é recomendado que verifique os atuais valores inseridos, faça uma tabela com os valores atuais e com os valores que serão modificados, criando uma espécie de histórico do equipamento. A segunda consideração é sobre o famoso padrão de fábrica, parâmetro que retorna todas as configurações e valores para ajustes-padrão, como se fosse um equipamento novo. Antes de usá-lo, tome nota de todas as configurações do estado atual dos parâmetros, pois uma vez retornado ao padrão de fábrica, não há meios de recuperar os dados antigos.

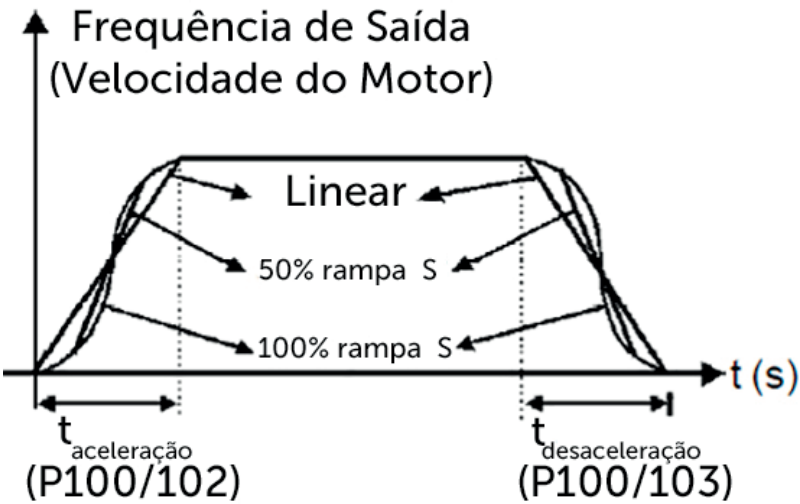
Acionamentos de motores elétricos com rampa de aceleração e desaceleração

Nos acionamentos por partida direta ou indireta, a corrente de partida é dada em degraus conforme o comando. Por exemplo, para acionamento de um motor elétrico com carga acoplada ao eixo, pode-se utilizar uma partida simples, direta, caso o motor esteja abaixo dos 10 cv recomendados pelas concessionárias de energia; ou partidas indiretas com autotransformador, compensadoras, e

aceleração rotórica, resistências, no qual o acionamento se dará em proporções, fazendo com que a corrente de pico também seja proporcional. Porém, em ambos os casos, a aceleração do motor se dá do momento zero ao X, sem controle de corrente ou tensão.

Foram estudados nas unidades e seções anteriores os acionamentos por partidas eletrônicas, como no caso da *softstarter*, e, agora, dos conversores de frequência, em que se torna possível controlar a corrente de partida fazendo uma espécie de rampa, e não mais degrau. Essa rampa permite minimizar o impacto da corrente de pico, através do acionamento em função do tempo, da corrente e da tensão, entre o momento zero e o momento desejado, 100% por exemplo. A Figura 4.6 ilustra o gráfico de um acionamento por rampa de aceleração e desaceleração.

Figura 4.6 | Rampa de aceleração e desaceleração controlado por um conversor de frequência



Fonte: WEG (2013, p. 62).

O conversor de frequência WEG CFW10 possibilita a parametrização com rampa linear, na qual o motor parte linearmente do momento zero até a frequência ajustada, em um tempo determinado, e a desaceleração parte da frequência ajustada até o momento zero, também em um tempo determinado. A rampa em S significa uma rampa mais suave, que atua reduzindo prováveis choques ou variações perceptíveis que podem afetar o sistema mecânico acoplado, ou mesmo a carga.

Exemplificando

O técnico da empresa ABC Móveis montou em uma bancada de teste um conversor de frequência com um motor elétrico trifásico, idêntico ao da máquina serra de corte, no qual ele está estudando como melhorar o tempo de ligar e desligar, para evitar que o operador coloque a chapa de madeira antes de o motor atingir velocidade total e desligar de forma lenta caso o operador desligue a máquina estando a serra em contato com a madeira, o que poderia ocasionar acidente ou perda de material.

O Quadro 4.8 mostra o passo a passo feito pelo técnico para parametrizar o conversor.

Quadro 4.8 | Parametrização do CFW10 para acionamento em rampa

Ação	Procedimento
Destravar IHM para inserir novos valores nos parâmetros: - colocar no parâmetro P000; - ajustar valor para 5.	1. Estando as ligações elétricas corretas, o *display* na IHM informará a mensagem "rdy" do inglês ready, que significa pronto. Qualquer mensagem diferente, deverá consultar o manual. 2. Para acessar o menu de parâmetros use as teclas com as setas, observe se o led está na cor vermelha, indicando a função "Parâmetro". Ao encontrar o parâmetro desejado, use tecla P para entrar no mesmo e realizar os ajustes necessários:
Tempo, em segundos, para o motor sair da velocidade zero e atingir o valor desejado: - colocar no parâmetro P100; - ajustar valor para 4.	
Tempo, em segundos, para o motor sair da velocidade ajustada e retornar ao valor zero: - colocar no parâmetro P101; - ajustar valor para 10.	
Configurar motor para rodar no sentido horário: - colocar no parâmetro P231; - ajustar valor para zero.	

Testar funcionamento: - apertar o botão habilita/ desabilita; - verificar funcionamento e, se necessário, repetir procedimento para ajustar o tempo de aceleração e desaceleração.	 3. Os ajustes de valores serão feitos pelas teclas com setas. Observe se o *led* está na cor verde indicando a função "Valores"; após os ajustes, teclar P novamente para confirmar.

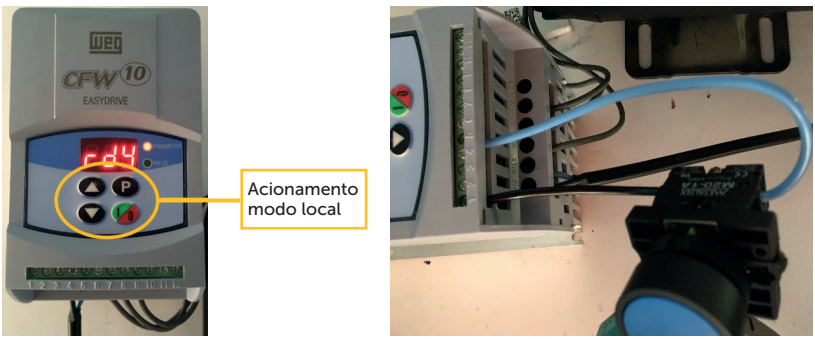
Fonte: elaborado pelo autor.

Aplicação de sensores e transdutores juntamente aos conversores de frequência

Os acionamentos de partida do motor e as formas de controle pelo conversor de frequência podem ser feitos pelos modos local e remoto. Em modo local, são consideradas as teclas presentes na IHM do próprio equipamento, como ilustrado na Figura 4.7 (a). Já em modo remoto, os dispositivos de comando, como botões e sensores, serão ligados e energizados pela fonte do próprio equipamento – no caso do CFW10, a energização será feita pelo

borne 5 – ou por fontes externas cuja tensão de saída deverá ser conforme recomendado pelo fabricante do equipamento. A Figura 4.7 (b) ilustra o acionamento em modo remoto e o Quadro 4.9 mostra os parâmetros e ajustes necessários para atuar nesse mesmo modo.

Figura 4.7 | Teclas para acionamento em modo local (a) e botões externos para modo remoto (b)



Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 4.9 | Parametrização do CFW10 para acionamento em modo remoto

Ação	Parâmetro	Ajuste
Seleção dos comandos para remoto Obs.: Para que todos os comandos fiquem remotos, é importante parametrizar a situação local para comandos via bornes, entradas.	P229 – Situação local	1 (habilita bornes de entrada)
	P230 – Situação remoto	1 (habilita bornes de entrada)
Configurar motor para sentido apenas horário	P231	0
Atribuir funções aos botões externos.	P263 – DI1	13 (liga)
	P264 – DI2	14 (desliga)
	P265 – DI3	0 (sem função)
	P266 – DI4	0 (sem função)

Fonte: elaborada pelo autor (2018).

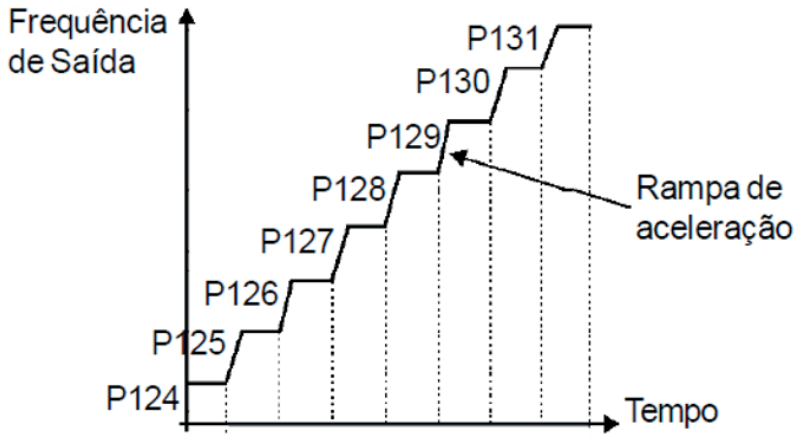
Reflita

Um dos erros cometidos ao se instalar um conversor de frequência é esquecer de parametrizar qual modo de operação será utilizado, ou seja, modo local ou remoto. Imagine um painel elétrico controlando três motores, um com conversor de frequência, outro com *softstarter* e uma partida direta. Este painel segue as recomendações das normas NR10 e NR12, bem como os manuais dos equipamentos de acionamento citados. O manual da *softstarter* modelo SSW07, fabricado pela WEG, informa que o acionamento dos terminais de entrada para comando remoto, externo, deverá ser feito com alimentação em rede alternada de 110 ou 220 V. O conversor de frequência modelo CFW10, fabricado pela WEG, permite a alimentação dos terminais de entrada para comando remoto com tensões contínuas de 0 V, fonte interna, ou de 10 a 30 V, fonte externa. O restante dos dispositivos de controle do painel, como sinaleiros, sensores, bobinas dos contatores e botões, deverá ser energizado por uma fonte de tensão contínua, dentro dos valores estipulados pela NR12. Se você fosse o técnico que iria desenvolver o projeto e realizar a montagem deste painel, como faria as ligações dos componentes no conversor de frequência? Modo local ou modo remoto? Qual seria a tensão da fonte?

Controle de velocidade com acionamento nas entradas digitais do conversor de frequência

Uma das vantagens dos conversores de frequência, em relação às chaves eletrônicas de partida *softstarter*, é o controle da velocidade após partida do motor, podendo integrar sensores e botões, por exemplo, para atingir melhores níveis de automatização do processo e de eficiência energética, como foi estudado na primeira seção desta unidade. Um dos controles de velocidade é chamado de *multispeed*, ou seja, através de combinações lógicas nas entradas digitais do conversor de frequência é possível variar a frequência na saída, com valores preestabelecidos, fazendo com que o motor tenha a velocidade dessa combinação lógica. A Figura 4.8 ilustra o gráfico de um acionamento por *multispeed*.

Figura 4.8 | Acionamento *multispeed* por um conversor de frequência



Fonte: WEG (2013, p. 65).

As entradas digitais do conversor de frequência, quando combinadas, produzem o comando para variar as faixas de velocidade. No Quadro 4.10, é possível verificar as possibilidades de combinações disponíveis no conversor da CFW10.

Quadro 4.10 | Referências de frequência para *multispeed*

Acionamento com 8 níveis de velocidades			
	4 níveis de velocidades		
		2 níveis de velocidades	
Entrada DI2	Entrada DI3	Entrada DI4	Parâmetro
Sem sinal	Sem sinal	Sem sinal	P124
Sem sinal	Sem sinal	Com sinal	P125
Sem sinal	Com sinal	Sem sinal	P126
Sem sinal	Com sinal	Com sinal	P127
Com sinal	Sem sinal	Sem sinal	P128
Com sinal	Sem sinal	Com sinal	P129
Com sinal	Com sinal	Sem sinal	P130
Com sinal	Com sinal	Com sinal	P131

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 4.11 mostra o passo a passo para parametrizar o conversor e obter o acionamento de um motor com quatro níveis de velocidades.

Quadro 4.11 | Parametrização do CFW10 para acionamento *multispeed*

Ação	Parâmetro	Ajuste
Seleção dos comandos para remoto Obs.: Para que todos os comandos fiquem remotos, é importante parametrizar a situação local para comandos via bornes, entradas.	P229 – Situação local	1 (habilita bornes de entrada)
	P230 – Situação remoto	1 (habilita bornes de entrada)
Seleção da referência de frequência	P221	6 (*multispeed*)
	P222	6 (*multispeed*)
Atribuir funções aos botões externos. • Considerando apenas 4 faixas de frequências para as velocidades do motor, conforme tabela 4.4.	P263 – DI1	0 (sem função)
	P264 – DI2	0 (sem função)
	P265 – DI3	7 (*multispeed*)
	P266 – DI4	7 (*multispeed*)
Definir valores de velocidade do controle *multispeed* conforme acionamento pelos botões na entrada DI3 e DI4.	P124	10 Hz
	P125	20 Hz
	P126	30 Hz
	P127	40 Hz

Fonte: elaborado pelo autor.

Controle de velocidade com acionamento nas entradas analógicas do conversor de frequência

Além da função multispeed para controle de velocidade, há também o controle por meio das entradas analógicas, ou seja, entradas que receberão sinais cuja amplitude varia ao longo do tempo, por exemplo, potenciômetro, sensor de pressão, sensor de temperatura, etc.

Não só como controle de velocidade, mas também podem ser utilizados em sistemas de malhas fechadas, fazendo o feedback do processo, usando as técnicas de controle PID para melhores resultados e maior automatização. Os transformadores de corrente (TC) são largamente utilizados nos painéis de acionamentos elétricos para realizar a medição proporcional da corrente que passa pelo condutor e, quando instalados junto com outros equipamentos, como amperímetros microprocessados, controladores lógicos ou os próprios conversores de frequência, poderão atuar no controle discreto da carga, ligando e desligando uma carga, ou, quando em malha fechada, fazer o papel de realimentação para que o controlador atue sobre a carga instalada, aumentando ou diminuindo a potência do motor, por exemplo. A Figura 4.9 (a) ilustra um TC instalado em um painel de acionamento, fazendo a leitura da corrente em um dos condutores fase, estando ligado em um amperímetro microprocessado 4.9 (b).

Figura 4.9 | Transformador de corrente instalado em painel de acionamento (a), amperímetro digital microprocessado fazendo a leitura de um motor de 125 cv em funcionamento (b)

(a) (b)

Fonte: acervo do autor.

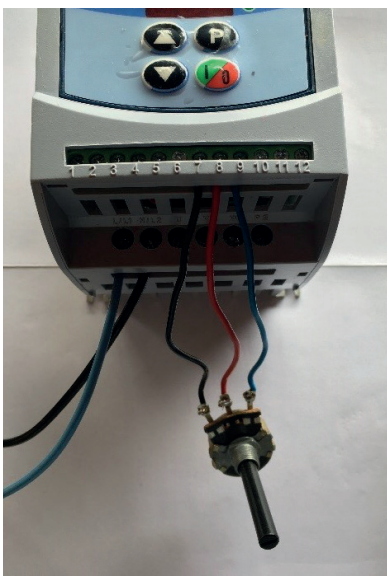
Pesquise mais

Para saber mais sobre o funcionamento dos transformadores de corrente, recomendo o vídeo produzido pelo canal Mundo da Elétrica, no YouTube, sobre este tema. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Vckb8twFwgM> Acesso em: 22 maio 2018.

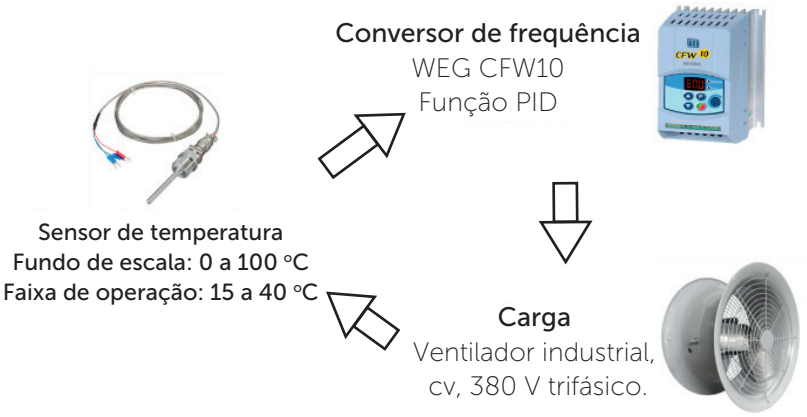
A empresa Digimec desenvolve equipamentos de automação industrial; entre os produtos comercializados estão os amperímetros digitais microprocessados. Acesse o *link* para conhecer os dados técnicos e modos de ligação deste equipamento. Disponível em: <http://www.digimec.com.br/produtos/381/amperimetros-microprocessados-com-alarme> Acesso em: 22 maio 2018.

Basicamente, no conversor CFW 10 há duas formas de ligações, sensores de sinais por corrente (0 a 20 mA ou 4 a 20 mA) ou por tensão (0 a 10 Vcc). Com isso, podem ser implementados diversos modelos de transdutores. A Figura 4.10 ilustra a ligação elétrica de um potenciômetro e o Quadro 4.12 mostra o passo a passo para a parametrização dele no controle de velocidade.

Figura 4.10 | Instalações do potenciômetro no conversor de frequência CFW10 (a) e sinótico de aplicação do potenciômetro como sensor de temperatura



(a)



(b)

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 4.12 | Parametrização do CFW10 para controle PID de velocidade via entrada analógica

Ação	Parâmetro	Ajuste
Habilitar conversor de frequência para modo PID	P203	1
Seleção da referência de frequência	P221	0 (teclas da IHM)
	P222	0 (teclas da IHM)
Seleção dos comandos para remoto	P229 – Situação local	0 (habilita teclas da IHM)
	P230 – Situação remoto	1 (habilita bornes de entrada)
Definir ganho para entrada analógica (instalação do sensor) - Calcular o fundo de escala, valor máximo na saída do sensor, sobre a faixa de medição.	P234	$\frac{FS}{FM} \times 100$ $\frac{100°C}{25°C} x100 = 400$
Tipo da entrada analógica	P235	0 (0 a 10 V)
Atribuir funções para as entradas digitais.	P263 – DI1	1 (habilita geral)

Atribuir funções para as entradas digitais. - Todas sem função, pois o objetivo da aplicação é que o ventilador funcione de forma automática.	P264 – DI2	0 (sem função)
	P265 – DI3	0 (sem função)
	P266 – DI4	0 (sem função)
Setpoint ou valor desejado no processo, na aplicação, valor ideal para a temperatura do galpão.	P525	$\frac{\text{Valor Desejado}}{\text{Fundo de escala}} \times \text{P234}$ $\frac{20°C}{100°C} \times 400 = 80$
Tipo de ação para o controle PID - 0: Direto, ou seja, partindo do valor medindo zero até o valor *setpoint* com a carga em operação. - 1: Reverso, ou seja, partindo do valor *setpoint* até o valor de fundo de escala.	P527	1
O fator de escala da variável de processo sendo medido, será o valor mostrado na IHM do conversor de frequência pelo parâmetro P040.	P528	$\frac{\text{Fundo de escala}}{\text{P234}} \times 100$ $\frac{100°C}{400} \times 100 = 25$
Leitura do valor de processo, na aplicação, temperatura	P040	

Leitura do valor da frequência de saída do conversor para o motor	P005	

Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Pesquise mais

A empresa brasileira WEG tem disponível em seu site, na seção de *drivers* para os produtos desenvolvidos, alguns *softwares* gratuitos que permitem a parametrização e monitoração de alguns modelos de conversores de frequência e *softstarter*.

Para modelos antigos e fora de série, acessar o "SuperDriver", disponível em: <http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Software/SuperDrive-Software-de-Parametrizacao-de-Drives> Acesso em: 22 maio 2018.

Para os modelos mais novos, fazer o *download* do "SuperDriver G2", disponível em: <http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Software/SuperDrive-G2-Software-de-Parametrizacao-de-Drives>. Acesso em: 22 maio 2018.

Sem medo de errar

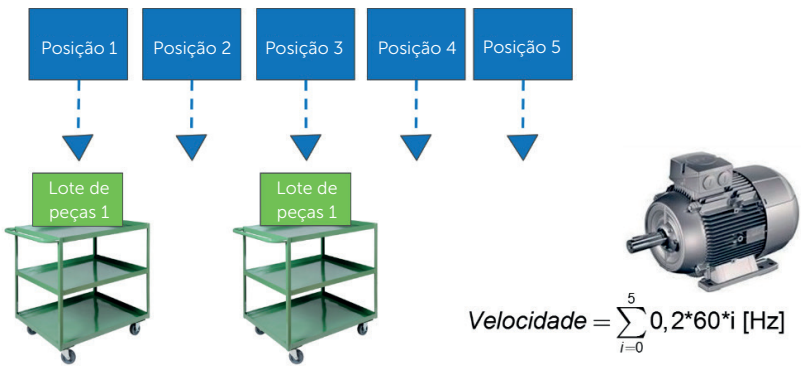
Para finalizar o projeto de redução de custos incentivado pela companhia Uni Tecidos S.A., você e sua equipe, após todas as análises e os projetos realizados, decidem desenvolver o projeto final para a máquina de recobrimento de elástico. A fim de melhorar momentaneamente o funcionamento da máquina, na última implementação, vocês configuraram o motor para funcionar somente em duas velocidades, 30% e 100%, controladas pelo botão instalado na entrada DI4.

Durante o desenvolvimento do projeto final para acionamento do motor e elaboração da lista de parâmetros para configurar o

conversor de frequência, você e sua equipe fizeram uso do manual do equipamento e da placa de identificação do motor. Imagine que sua equipe esteja com dúvida e o questiona sobre quais dados do motor serão necessários para configurar o conversor de frequência e se ele possui entradas disponíveis para a instalação dos sensores conforme o projeto, no qual são necessários cinco níveis de velocidades. Será possível viabilizar este projeto e desenvolver a parametrização no conversor?

O projeto final será desenvolvido conforme o sinótico ilustrado na Figura 4.11, desenhado por sua equipe e pelos responsáveis pela produção.

Figura 4.11 | Sinótico para o processo de recobrimento de elástico



Fonte: elaborado pelo autor.

O novo projeto consiste em modificar a velocidade do motor principal do processo conforme a quantidade de peças a serem produzidas. Essas peças ficarão em pequenos armazéns, identificadas por sensores de posição, de 1 a 5. A velocidade será o produto de $Velocidade = \sum_{i=0}^{5} 0,2*60*i\ [Hz]$, em que i representa a quantidade de carrinhos com peças nos armazéns. Caso não tenha peças para serem produzidas, o motor terá velocidade igual a zero; se com dois carinhos de peças para produzir, a velocidade será 40% da frequência nominal, por exemplo. A variação de velocidade será de 20%, ou seja, 0,2. Cada modelo de conversor de frequência requer uma quantidade de dados do motor diferente: há modelos em que é necessário informar tensão, frequência, corrente, fator de potência, rendimento, torque; outros, mais simples, apenas requerem a corrente nominal.

Nas configurações do conversor, é importante determinar a frequência mínima e máxima, pois evitará que um erro de parametrização danifique o motor e, quando presente, determinar a sobrecarga permitida ao motor.

Com o conhecimento e exemplos utilizados nesta seção, você será capaz de parametrizar o conversor de frequência e, com os conhecimentos das unidades anteriores, poderá desenvolver o projeto de acionamento e solucionar o problema levantado pela sua equipe sobre a quantidade de entrada disponível no conversor para o controle *multispeed* e a quantidade de velocidades necessária no projeto.

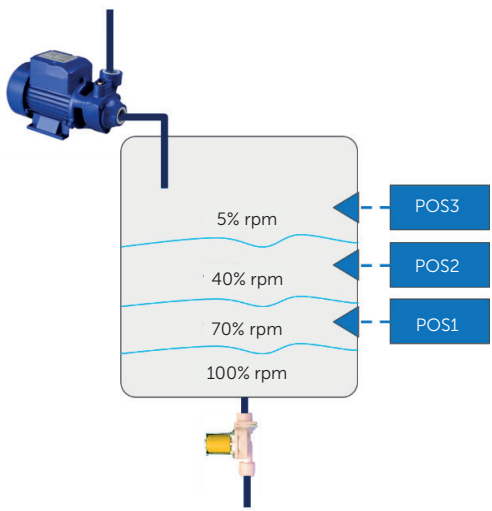
Avançando na prática

Parametrização do CFW10 para controle de nível

Descrição da situação-problema

O atual acionamento da bomba responsável por manter o nível alto da caixa-d'água é feito por partida direta, e o comando elétrico possui apenas três sensores. Foi requisitado pelo responsável técnico da empresa um projeto elétrico para automatização deste tanque, o qual está ilustrado na Figura 4.12.

Figura 4.12 | Sinótico de automatização da caixa-d'água



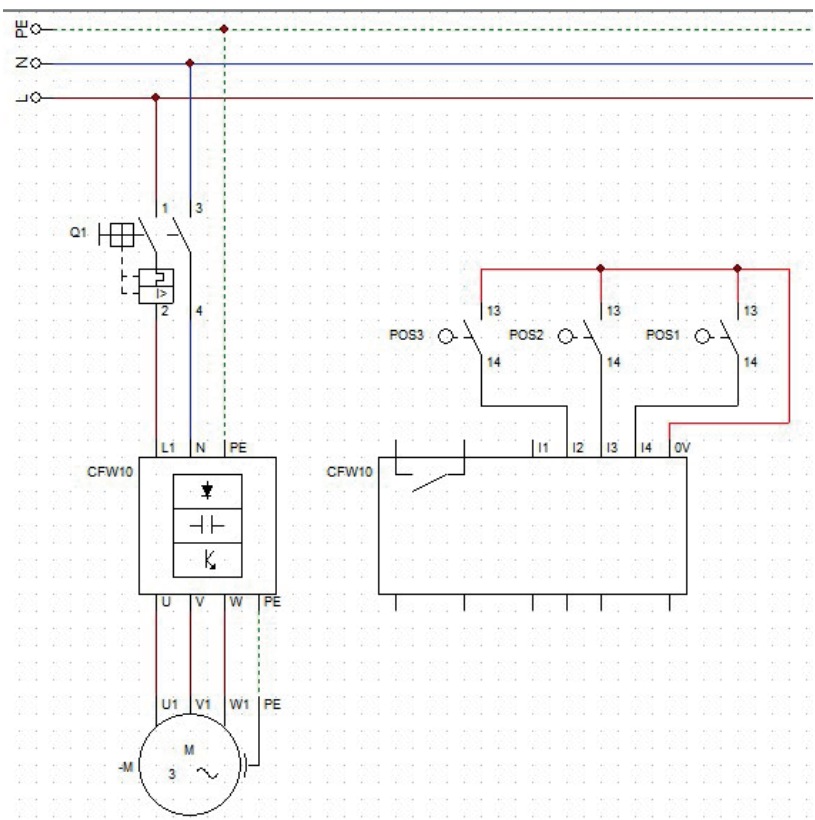
Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Apenas com a instalação do conversor de frequência, será possível o controle de velocidade com que o motobomba irá trabalhar, seguindo as premissas do responsável técnico da empresa, não sendo necessária a instalação de um controlador lógico.

O projeto a ser apresentado para esta empresa consiste no diagrama elétrico e na folha de parametrização do conversor. A Figura 4.13 ilustra o diagrama elétrico de carga e o comando necessário nesta aplicação, que é o conversor modelo CFW10 da WEG com alimentação monofásica de 110 a 127 V, e o Quadro 4.13 mostra o passo a passo contido na folha de parametrização.

Figura 4.13 | Diagrama elétrico para acionamento do motobomba com conversor de frequência



Fonte: elaborada pelo autor.

Quadro 4.13 | Parametrização do CFW10 para controle de nível

Ação	Parâmetro	Ajuste
Seleção dos comandos como modo remoto	P229	1
	P230	1
Seleção da referência de frequência	P221	6 (*multispeed*)
	P222	6 (*multispeed*)
Atribuir funções para entradas digitais como *multispeed* para instalação dos sensores de nível.	P263 – DI1	0 (sem função)
	P264 – DI2	7 (*multispeed*)
	P265 – DI3	7 (*multispeed*)
	P266 – DI4	7 (*multispeed*)
Definir valores de velocidade do controle *multispeed*. • 100% rpm: nenhum sensor acionado (tanque vazio) – P124 • 70% rpm: POS1 – DI4 acionado • 40% rpm: POS2 – DI4 e DI3 acionados • 5% rpm: POS3 – todos sensores acionados	P124	60 Hz (100%)
	P125	42 Hz (70%)
	P126	42 Hz
	P127	24 Hz (40%)
	P128	24 Hz
	P129	24 Hz
	P130	24 Hz
	P131	3 Hz (5%)

Fonte: elaborado pelo autor.

Observe que, na parametrização do controle *multispeed*, estão sendo mantidas as velocidades entre os acionamentos dos sensores de níveis, pois, caso sejam de velocidades diferentes, as combinações lógicas das entradas poderão imprimir um valor diferente para o motor.

Faça valer a pena

1. A configuração das rampas de aceleração e desaceleração nos conversores para controle dos motores leva em consideração alguns passos que estão recomendados no manual do equipamento, como:

I. Habilitar parâmetro que permite configuração de valores.
II. Configurar tempo de aceleração, sendo maior que o tempo de rotor bloqueado a quente.

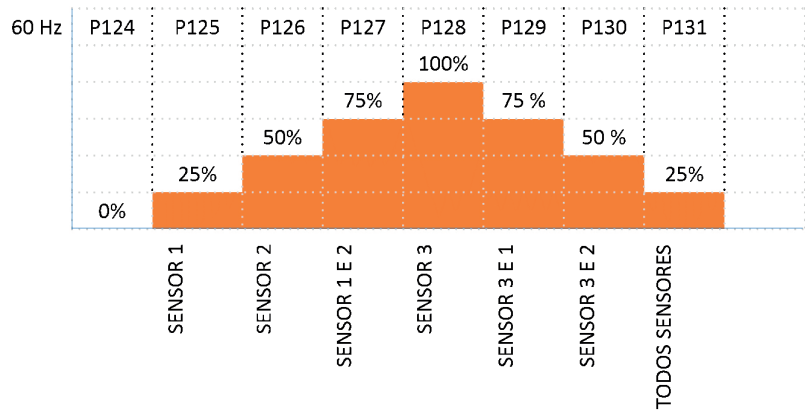
III. Configurar tempo de desaceleração, sendo menor que o tempo de rotor bloqueado a frio.
IV. Habilitar conversor para funcionamento.

Qual alternativa melhor apresenta a correta resposta para estas recomendações?

a) I e IV estão corretos.
b) I, II e IV estão corretos.
c) I, III e IV estão corretos.
d) II e III estão corretos.
e) II e IV estão corretos.

2. Após modelar o diagrama de funcionamento, ilustrado na figura abaixo, para um motor de uma determinada máquina de costura industrial, o técnico eletrotécnico foi convidado a desenvolver a expressão lógica e a indicar quais frequências deverão ser utilizadas para configurar o conversor de frequência.

Figura | Diagrama de acionamento conforme modelagem desejada



Fonte: elaborada pelo autor.

Marque a alternativa que melhor apresenta a expressão lógica para a frequência de saída, Fs, e os valores utilizados no parâmetro correspondente quando o sensor 3, S3, e o sensor 2, S2, estiverem acionados.

a) $Fs = S3 \oplus S2$, P130 = 50.
b) $Fs = S3 \circ S2$, P130 = 50.
c) $Fs = S3 \oplus S2$, P130 = 30.
d) $Fs = S3 \circ S2$, P130 = 30.
e) $Fs = S3 \circ \overline{S2}$, P130 = 50.

3. Foram adquiridos alguns conversores de frequência para melhoria do desempenho do processo da indústria Cores e Tons Ltda. e, consequentemente, dos índices de eficiência energética. Para tanto, há dois modelos de transdutores a serem instalados, um grupo de conversores para controle dos ventiladores de resfriamento e outro de conversores para controle das motobombas, que mantêm a circulação da água nas tubulações. O primeiro grupo de conversores será parametrizado para que mantenha a temperatura em 20°C, e o segundo grupo de conversores para manter o processo com 10 bar.

O técnico do projeto encontrou no mercado um transdutor de pressão ideal para o segundo grupo de conversores, facilitando os ajustes de parametrização; porém, quais deverão ser os valores percentuais para *setpoint*, valor desejado, e para o ganho do sistema, para os transdutores de temperatura, cuja faixa de leitura vai de –50 a 100°C, considerando uma faixa de 60% para mais e para menos de medição sobre o valor de *setpoint*?

a) Ganho de 100 e *setpoint* 20%.
b) Ganho de 625 e *setpoint* 83,33%.
c) Ganho de 16 e *setpoint* 120%.
d) Ganho de 16 e *setpoint* 2,13%.
e) Ganho de 468,75 e *setpoint* 62,5%.

Referências

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência**: teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009. 192 p.

_____. **Sistemas de acionamento elétrico**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 152 p.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 666 p.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Série Tekne. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013. 372 p.

WEG. **Manual do inversor de frequência CFW-10**. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw10-manual-do-usuario-0899.5860-2.xx-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2018.

ISBN 978-85-522-0705-4
9 788552 207054