

COMANDOS INDUSTRIAIS

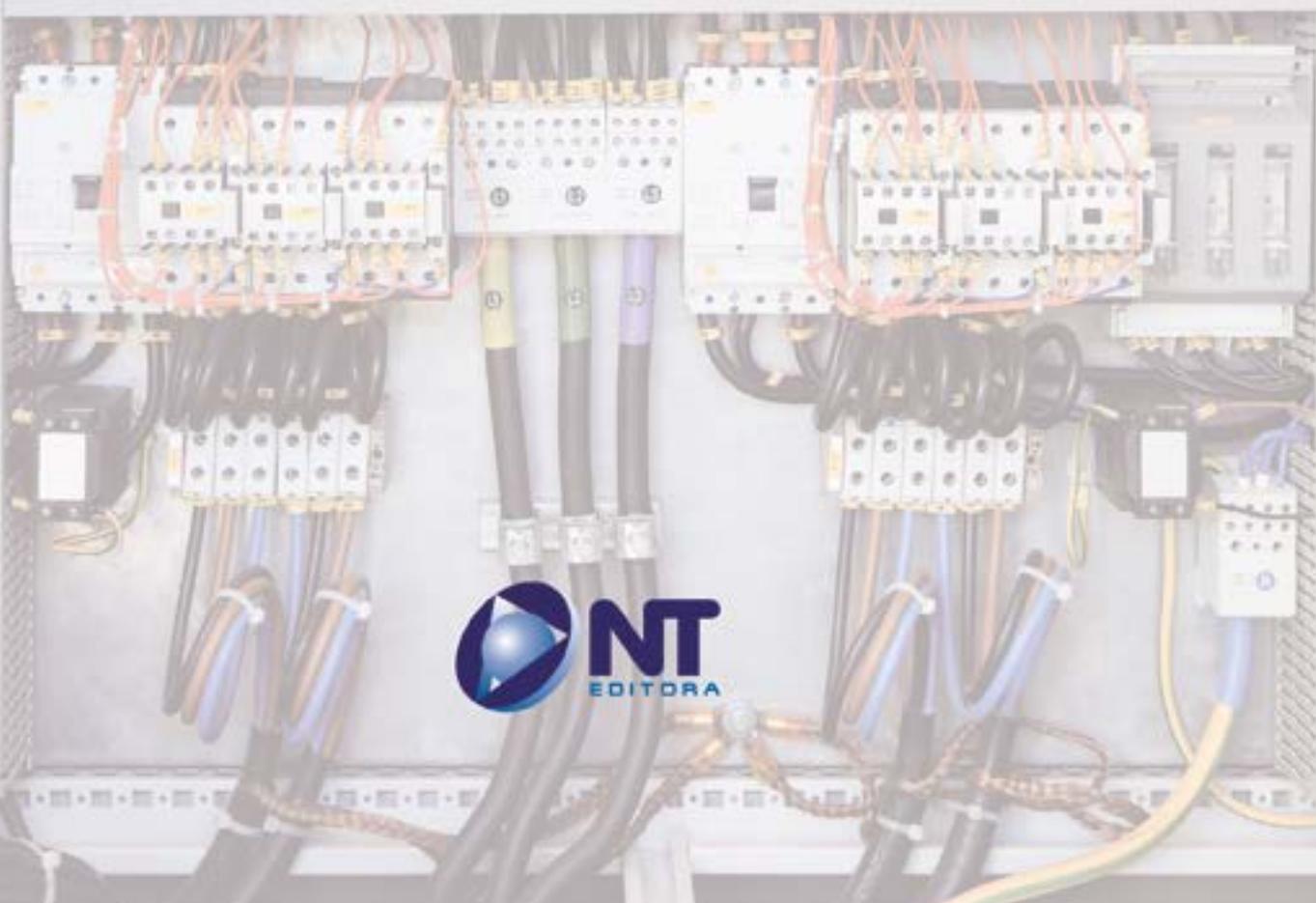
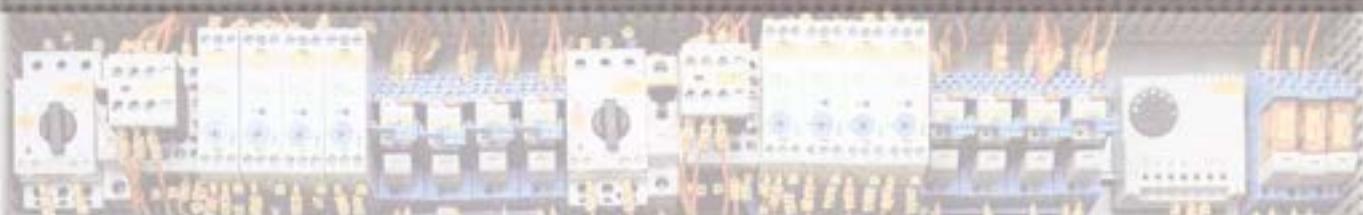
Ronimack Trajano de Souza

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS

COMANDOS INDUSTRIAIS

Ronimack Trajano de Souza

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS



Autor

Ronimack Trajano de Souza

Formado em Engenharia Elétrica, mestre em Para-raios de Óxido de Zinco e doutor em Disjuntores de Alta Tensão, todos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFPG). Atuou como Engenheiro Eletricista da CAGEPA, de 2004 a 2011, e como professor do IFPB, de 2011 a 2017. Desde maio de 2017, é professor da UFPG, tendo desenvolvido suas atividades de ensino, pesquisa e extensão no curso de Engenharia Elétrica na área de Sistemas Elétricos de Potência. Como engenheiro, realiza atividades como consultor técnico e/ou projetista nas áreas de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), Avaliação de Conformidade Técnica de Instalações Elétricas Industriais, Sistemas de Aterramento e Subestações de Energia Elétrica. É autor da Norma de Transmissão Unificada (NTU 014) Projetos de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas em subestações de distribuição, do grupo Energisa e do livro Instalações Elétricas Prediais e Industriais da NT Editora.

Design Instrucional

Luan Amoras de Moraes

Rodolfo Rodrigues

Projeto Gráfico

NT Editora

Capa

NT Editora

Revisão

NT Editora

Ilustração

Daniel Motta

Editoração Eletrônica

Kaleo Amorim

NT Editora, uma empresa do Grupo NT

SCS Quadra 2 – Bl. C – 4º andar – Ed. Cedro II

CEP 70.302-914 – Brasília – DF

Fone: (61) 3421-9200

sac@grupont.com.br

www.nteditora.com.br e www.grupont.com.br

Souza, Ronimack Trajano de.

Comandos industriais / Ronimack Trajano de Souza – 1. ed. –
Brasília: NT Editora, 2019.

198 p. il. ; 21,0 X 29,7 cm.

ISBN 978-85-8416-695-4

1. Crédito. 2. Cobrança.

I. Título

Copyright © 2019 por NT Editora.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita da NT Editora.

ÍCONES

Prezado(a) aluno(a),

Ao longo dos seus estudos, você encontrará alguns ícones na coluna lateral do material didático. A presença desses ícones o(a) ajudará a compreender melhor o conteúdo abordado e a fazer os exercícios propostos. Conheça os ícones logo abaixo:



Saiba mais

Esse ícone apontará para informações complementares sobre o assunto que você está estudando. Serão curiosidades, temas afins ou exemplos do cotidiano que o ajudarão a fixar o conteúdo estudado.



Importante

O conteúdo indicado com esse ícone tem bastante importância para seus estudos. Leia com atenção e, tendo dúvida, pergunte ao seu tutor.



Dicas

Esse ícone apresenta dicas de estudo.



Exercícios

Toda vez que você vir o ícone de exercícios, responda às questões propostas.



Exercícios

Ao final das lições, você deverá responder aos exercícios no seu livro.

Bons estudos!

Sumário

1 NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE MOTORES ELÉTRICOS	9
1.1 Conceitos básicos de motores elétricos.....	9
1.2 Motores elétricos de indução	15
1.3 Tipos de ligação dos motores de indução.....	19
1.4 Sistemas de partida de motores elétricos de indução.....	23
2 DISPOSITIVOS DE ACIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO	32
2.1 Dispositivos de comando e sinalização de motores elétricos de indução	32
2.2 Dispositivos de seccionamento de motores elétricos de indução.....	37
2.3 Dispositivos de proteção de motores elétricos de indução	40
2.4 Dispositivos de manobra de motores elétricos de indução	47
3 CHAVES DE PARTIDA DIRETA	54
3.1 Princípio de funcionamento das chaves de partida direta	54
3.2 Diagramas de força e comando para chaves de partida direta.....	59
3.3 Critérios de dimensionamento dos componentes das chaves de partida direta	69
4 CHAVES DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO	79
4.1 Princípio de funcionamento das chaves de partida estrela-triângulo.....	79
4.2 Diagramas de força e comando para chaves de partida estrela-triângulo	84
4.3 Critérios de dimensionamento dos componentes das chaves de partida estrela-triângulo	90
5 CHAVES DE PARTIDA COMPENSADORA.....	102
5.1 Princípio de funcionamento das chaves de partida compensadora.....	102
5.2 Diagramas de força e comando para chaves de partida compensadora	108
5.3 Critérios de dimensionamento dos componentes das chaves de partida compensadora	114
6 CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICA SOFT-STARTER.....	125
6.1 Princípio de funcionamento da chave <i>soft-starter</i>	125
6.2 Diagramas de força e comando para chaves de partida eletrônica com <i>soft-starter</i>	131
6.3 Critérios de dimensionamento dos componentes das chaves de partida eletrônica com <i>soft-starter</i>	137

7 CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICA COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA .	148
7.1 Princípio de funcionamento do inversor de frequência	148
7.2 Diagramas de força e comando para chaves de partida eletrônica com inversor de frequência.....	155
7.3 Critérios de dimensionamento dos componentes das chaves de partida eletrônica com inversor de frequência.....	161
8 INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL COM CLPs	173
8.1 Conceitos básicos de automação industrial.....	173
8.2 Controlador Lógico Programável (CLP)	177
8.3 Diagramas de força e comando para chaves de partida com CLP	183
GLOSSÁRIO.....	196
BIBLIOGRAFIA	198

Caro(a) estudante,

Seja bem-vindo(a) aos **Comandos Industriais!**

Os motores elétricos estão presentes em praticamente todos os processos produtivos industriais, e, sem eles, a eficiência do sistema produtivo não seria a mesma. Contudo, sem um sistema de acionamento corretamente projetado, os motores podem não operar de forma adequada e, com isso, ocasionar falhas de operação.

Neste material, você terá a oportunidade de se qualificar nas fases de projeto, instalação e manutenção dos sistemas de acionamento de motores elétricos de indução.

Durante os estudos, fique atento a todas as informações! É importante resolver os exercícios ao final de cada lição.

Espero que, ao final destes estudos, você esteja qualificado e entusiasmado para desbravar os acionamentos industriais e seus desafios!

Bons estudos!

Ronimack Trajano de Souza

1 NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE MOTORES ELÉTRICOS

Olá! Está preparado para conhecer o universo dos motores elétricos?

Você sabia que no Brasil, de acordo com o Ministério de Minas e Energia, por meio do documento *Plano Nacional de Eficiência Energética*, os motores elétricos industriais são responsáveis por aproximadamente 30% de toda a energia elétrica consumida no país. Esse montante é bem próximo da soma dos consumos das regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste, que, juntas, consumiram, no ano de 2016, o equivalente a 32,3% de toda a energia no Brasil. Assimilou a importância dos motores no processo produtivo industrial?

Pelo contexto apresentado, evidencia-se a grande importância do conhecimento sobre os motores elétricos por parte dos engenheiros e técnicos que desenvolvem trabalhos com eletricidade, principalmente no setor industrial.

Então, vamos nos aprofundar neste assunto?

Objetivos

Ao finalizar esta lição, você deverá ser capaz de:

- conhecer o princípio de funcionamento dos motores elétricos;
- conhecer os principais conceitos sobre o motor de indução;
- compreender os aspectos operacionais do motor de indução tipo gaiola de esquilo;
- entender a importância e a aplicação dos motores elétricos nos processos industriais.

1.1 Conceitos básicos de motores elétricos

Desde a Revolução Industrial, o setor produtivo vem se modernizando com as mais diversas inovações tecnológicas. Nos dias atuais, os motores elétricos estão presentes em praticamente todos os processos produtivos, sejam eles residenciais, industriais ou comerciais. Estão presentes, por exemplo, nas máquinas responsáveis pela movimentação de esteiras industriais, em bombas centrífugas e compressores, nas máquinas de lavar roupas residenciais e industriais, em ares-condicionados, geladeiras e muitos outros equipamentos. Nas figuras a seguir estão apresentados alguns equipamentos industriais, entre os quais o motor elétrico, que é fundamental para o sistema de produção. Observe!



Nas figuras a seguir estão apresentados alguns equipamentos industriais, entre os quais o motor elétrico, que é fundamental para o sistema de produção. Observe!

Diante da sua importância para o setor produtivo, podemos considerar que, sem o motor elétrico, a eficiência do sistema produtivo não seria a mesma. Se você já sabe qual o princípio de funcionamento do motor elétrico, parabéns! Se não sabe, vamos aprender.



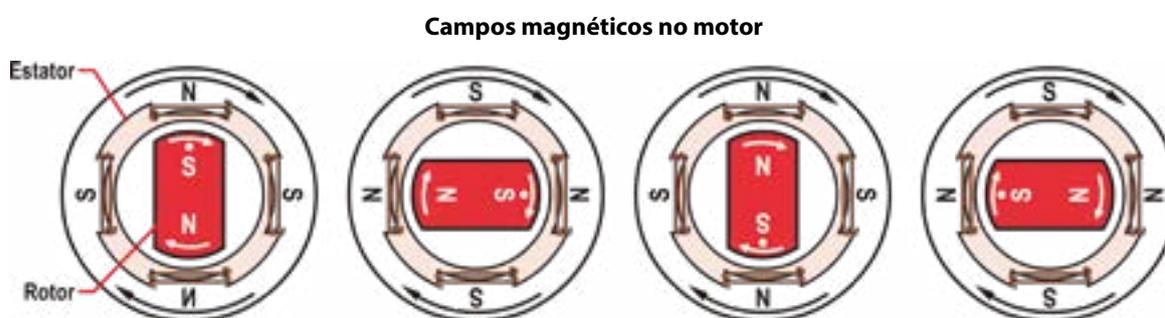
Importante

O motor elétrico é uma máquina destinada a realizar o processo de conversão de energia elétrica em energia mecânica (energia cinética) através da rotação de um eixo. Na prática, quase todos os tipos de motores fazem essa conversão pela ação de um **campo magnético**.



Campo magnético: região em volta de um ímã onde ocorrem interações magnéticas, proporcionando atração ou repulsão sobre outros ímãs ou materiais ferromagnéticos e paramagnéticos.

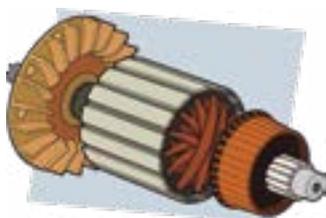
A figura a seguir ilustra uma máquina rotativa simples. A parte rotativa da máquina é denominada rotor e a parte estacionária, estator. Estando o estator conectado à rede elétrica, as correntes nos enrolamentos produzem um campo magnético uniforme girante. O campo magnético do rotor pode ser produzido por uma alimentação elétrica ou por indução do campo magnético do estator, conforme o tipo de máquina.



Se dois campos magnéticos estiverem presentes em uma máquina, um **acoplamento** entre eles será criado tentando alinhar os dois campos magnéticos, assim como dois ímãs de polaridades opostas tenderão a se aproximar se forem colocados próximos entre si. Na figura que acabamos de ver, como o campo magnético do estator está girando (observe os polos norte e sul, identificado com um ponto), a cada instante de tempo o campo magnético do rotor (e o próprio rotor) tentará constantemente se alinhar. O princípio básico de operação do motor é que o rotor "persegue" em círculo o campo magnético girante do estator.

Acoplamento: união ou ligação entre os campos magnéticos do rotor e do estator.

Rotor



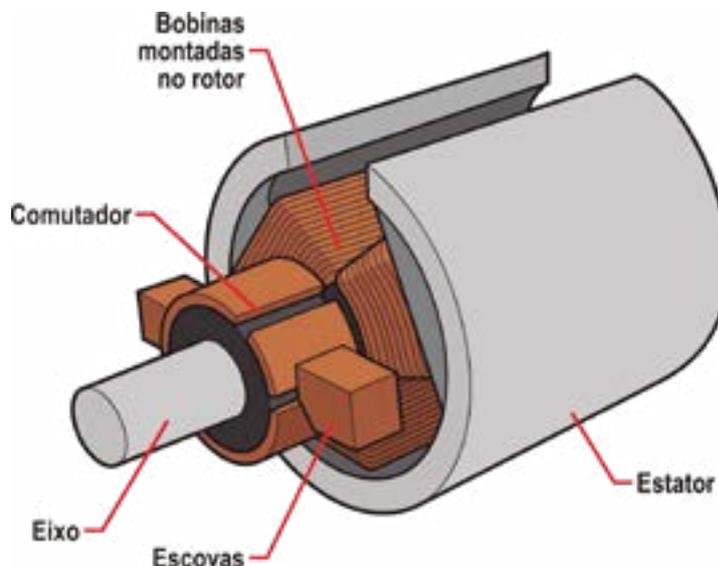
A diversidade de estudiosos envolvidos no desenvolvimento de motores contribuiu para que vários modelos diferentes fossem inventados. Em função da grande diversidade de modelos, foi estabelecida uma classificação dos tipos de motores, distinguindo cada um conforme suas particularidades. Assim, os motores elétricos foram divididos em duas grandes famílias clássicas, que têm como principal característica o tipo de sinal elétrico com o qual o motor é alimentado.

Motor elétrico CA

Adicionalmente, os motores são ainda divididos em subclasses que os diferenciam entre si quanto ao tipo de alimentação (monofásica, bifásica ou trifásica), quanto à velocidade, entre outras características de operação. Assim, entre os tipos mais comuns, destacam-se:



- **motor de corrente contínua (CC):** é o motor que necessita de uma fonte de corrente contínua ou de um dispositivo que converta a corrente alternada em contínua. Tem como vantagem a possibilidade do controle da velocidade de rotação do eixo, a qual pode ser ajustada em função da tensão de alimentação do motor. Esses motores são aplicados em sistemas que requerem controles de velocidade com grande flexibilidade e precisão, principalmente em potências elevadas. Há algumas décadas, o motor CC era o preferido para aplicações que exigissem velocidade variável. Atualmente, os sistemas que necessitam de controle de velocidade fazem uso principalmente do motor de indução CA com um acionamento com **dispositivos de estado sólido** (inversor de frequência).

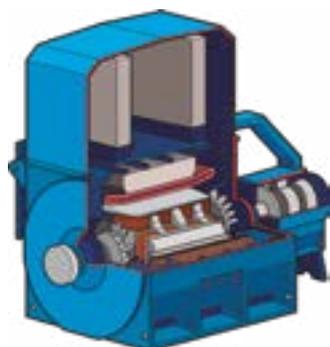


- **motor de corrente alternada (CA):** é o motor cuja alimentação é proveniente de uma fonte de corrente alternada, por isso é o mais utilizado, tendo em vista que a distribuição de energia elétrica é feita principalmente em corrente alternada, dispensando o uso de dispositivo conversor para corrente alternada. Os motores de corrente alternada podem ser divididos em dois tipos de motores:
 - 1) **Motor CA síncrono:** motor que apresenta velocidade fixa de rotação do eixo. Neste tipo de motor, o estator é alimentado em tensão alternada e o rotor, em tensão contínua ou, ainda, através de ímãs permanentes. O campo magnético do rotor interage com o campo girante do estator, sendo atraído pelo mesmo e seguindo na mesma velocidade da rede (sem escorregamento).

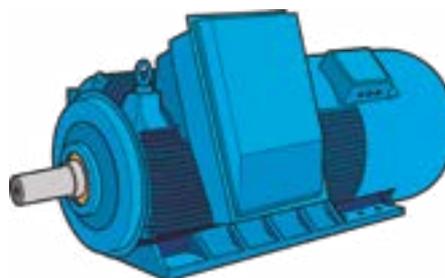


Dispositivos de estado sólido: dispositivos elétricos em que o fechamento e a abertura do circuito ocorrem sem abertura física, ou seja, sem partes móveis.

Motor elétrico CA síncrono



Motor elétrico CA assíncrono



- 2) **Motor CA assíncrono:** motor cuja corrente de campo é fornecida por indução magnética (similarmente ao transformador) em seus enrolamentos de campo. Neste tipo de motor não há sincronismo entre a rotação do campo girante no estator e o campo induzido no rotor, sendo a velocidade do rotor menor que a do campo girante do estator. Em função das excelentes características de simplicidade, robustez e baixo custo, quando comparado aos demais motores, o motor de indução é o mais utilizado, sendo adequado para praticamente todos os tipos de máquinas acionadas por motores. Com os avanços da eletrônica de potência, atualmente, é possível realizar o controle da velocidade dos motores de indução através do controle da frequência de alimentação do motor. Para isso, utiliza-se um inversor de frequência.

Associados aos motores elétricos existem algumas grandezas básicas que devem ser previamente apresentadas, de forma a auxiliar o leitor na compreensão deste assunto. Como o foco deste livro é o acionamento de motores de indução, os conceitos aqui apresentados serão associados aos motores de indução.



Campo girante: campo magnético rotativo presente em máquinas elétricas.

Como visto, a função do motor é fazer girar um eixo, a esse giro do eixo associa-se uma velocidade de rotação. Para os motores são definidas duas velocidades, a velocidade síncrona e a velocidade nominal. A velocidade síncrona (n_s) é definida pela velocidade de rotação do campo girante, a qual depende do número de polos (P) do motor e da frequência (f) da alimentação elétrica, em Hertz (Hz). O **campo girante** percorre um par de polos (P) a cada ciclo. A velocidade do campo, em rpm (rotações por minuto), é obtida pela seguinte equação:

$$n_s (rpm) = \frac{120 \cdot f (Hz)}{P}$$



Dicas

O instrumento utilizado para medir o número de rotações (geralmente por minuto, rpm) de um motor ou outra máquina rotativa é o tacômetro, também conhecido como taquímetro, conta-rotações, conta-voltas ou conta-giros.

Se o motor gira em uma velocidade diferente da síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, haverá um movimento relativo entre o rotor e o campo girante. A diferença entre a velocidade síncrona e a do rotor é denominada escorregamento ou velocidade de escorregamento do motor, a qual é determinada da seguinte maneira:

$$n_{esc} = n_s - n_m$$

Em que:

- n_{esc} – velocidade de escorregamento da máquina;
- n_s – velocidade dos campos magnéticos;
- n_m – velocidade mecânica do eixo do motor.

O escorregamento (S) pode, também, ser expresso em uma base por unidade ou porcentagem, assim definido:

$$s (\%) = \frac{n_{esc}}{n_s} \times 100\% = \frac{n_s - n_m}{n_s} \times 100$$

Importante

Apenas os motores síncronos apresentam a velocidade do rotor igual à velocidade do campo girante do estator, ou seja, apresentam sincronismo nas velocidades, daí a denominação de motores síncronos.

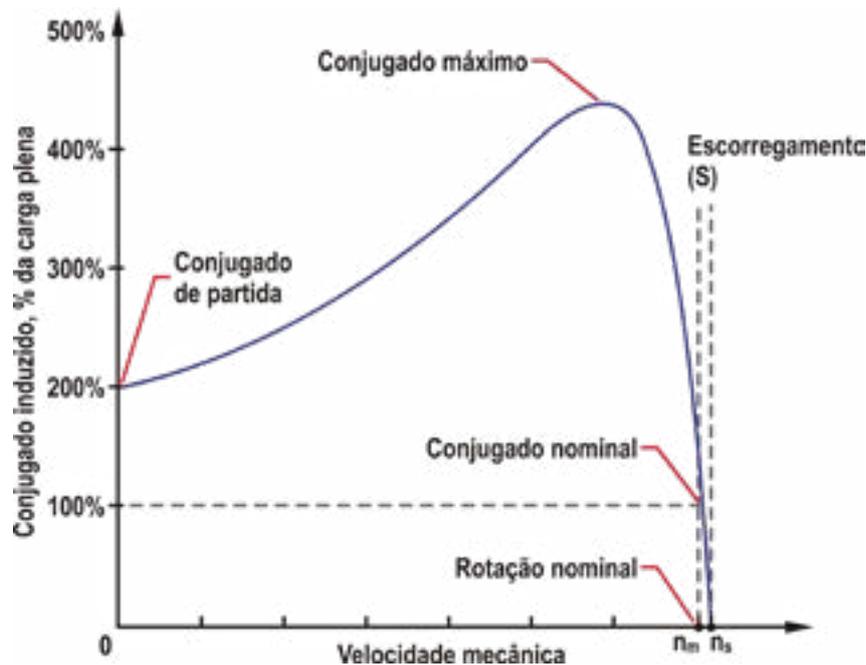
Como visto anteriormente, a principal função do motor é fazer girar um eixo, e, para que isso ocorra, é necessário aplicar uma força ao eixo para que este entre em rotação. Quando um objeto está em rotação, sua **velocidade angular** é constante, a menos que um conjugado esteja presente atuando sobre si. O conjugado (também denominado torque, momento ou binário) é a medida do esforço indispensável para girar um eixo. De modo mais abrangente, o conjugado pode ser definido como a "força de fazer girar" um objeto. O conjugado ou a ação de fazer girar um objeto depende do valor da força aplicada e da distância entre o eixo de rotação e a reta de ação da força.

Na figura a seguir é apresentada uma curva típica de conjugado *versus* a rotação de um motor de indução.



Velo-
cidade
angular:
grandeza que representa a rapidez com que um corpo percorre um percurso em sentido circular.

Curva conjugado versus rotação de um motor de indução



Suplantar: apresentar força necessária para girar um eixo.

Picos de carga: potência máxima registrada durante um intervalo de tempo.

O conjugado de partida é o torque aplicado ao eixo do motor para proporcionar o arranque ou a partida de um motor elétrico. Devido à necessidade de ter que **suplantar** a inércia do eixo, ou seja, a resistência do eixo para entrar em movimento, o conjugado de partida deve ser sempre superior ao valor do conjugado nominal. Já o conjugado nominal ou de plena carga é definido pela potência nominal acoplada ao eixo do motor, que corresponde a 100% da potência do motor, sob tensão e frequência nominais. Quanto maior for o conjugado aplicado ao rotor, mais rapidamente variará a sua velocidade.

Observa-se, ainda, que a relação entre o conjugado e a velocidade mecânica do motor não é constante, pois apresenta uma larga faixa de variação, e o conjugado máximo pode ultrapassar em até quatro vezes o conjugado nominal. Denomina-se conjugado máximo o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominal, sem queda brusca de velocidade. Na prática, o conjugado máximo deve ser o mais alto possível, por duas razões principais:

- 1) o motor deve ser capaz de superar, sem maiores dificuldades, eventuais **picos de carga**, o que pode acontecer em certas aplicações, como em britadores, misturadores e outras;
- 2) o motor não deve reduzir bruscamente a velocidade quando ocorrem variações momentâneas de tensão.

Por que o motor de indução tem conjugado igual a zero à velocidade síncrona?

O conjugado de partida está diretamente associado à corrente de partida do motor. Definimos corrente de partida como o termo técnico adotado para designar a corrente elétrica requerida pelo motor elétrico no intervalo de tempo denominado de partida. O tempo de partida do motor representa o intervalo de tempo que se inicia com a energização do motor (rotor inicia o movimento a partir do repouso) até o instante final em que o motor atinge a sua velocidade nominal.

Potencializando o conhecimento

Sabendo que, no Brasil, a frequência da rede elétrica é de 60 Hz, qual a rotação síncrona de um motor de 2 polos?

- a) 900 rpm.
- b) 1.200 rpm.
- c) 1.800 rpm.
- d) 3.600 rpm.

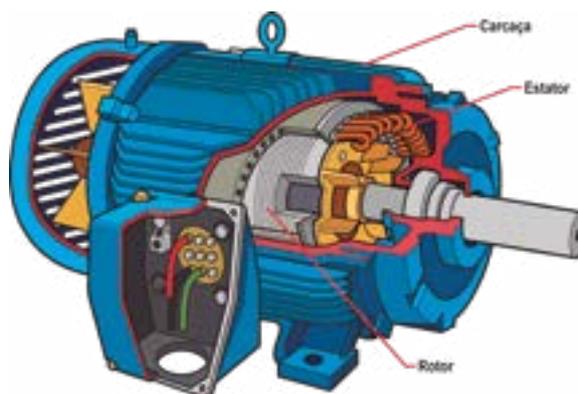
Comentário: se você escolheu a alternativa "d", acertou. Um modo de encontrarmos a solução é adotando a equação a seguir:

$$n_s \text{ (rpm)} = \frac{120 \cdot f(\text{Hz})}{p} = \frac{120 \cdot 60}{2} = 3.600 \text{ rpm}$$

1.2 Motores elétricos de indução

O motor de indução é composto fundamentalmente de duas partes, ambas fabricadas com material ferromagnético:

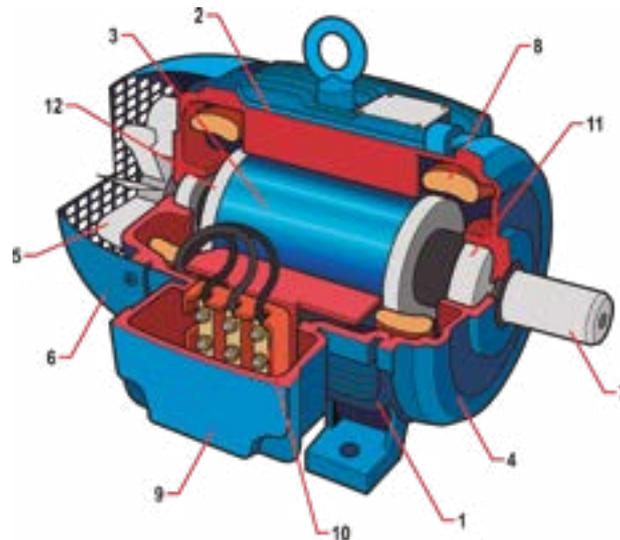
- **estator** (ou bobinas de campo): está inserido na carcaça do motor, recebe a alimentação elétrica responsável pelo campo magnético que interage com o rotor. No estator estão as bobinas de campo (o número depende da quantidade de fases e do número de polos do motor);
- **rotor**: também possuem bobinas, entretanto, estas estão em curto-circuito, nas quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do estator. O rotor constitui a parte móvel do motor, ao qual são acopladas as cargas mecânicas, que recebem a energia mecânica do motor (obtida através da conversão de energia elétrica em energia mecânica). O rotor é composto de barras condutoras não isoladas e interligadas por anéis de curto-circuito. Essas barras têm a forma de uma gaiola de esquilo, de onde vem o nome de motor de indução gaiola de esquilo.



Importante

O motor de indução caracteriza-se pelo fato de somente o estator estar conectado à rede elétrica de alimentação. O rotor não é alimentado externamente e as correntes que circulam nele são induzidas eletromagneticamente pelo estator, de onde vem o nome de motor de indução.

Agora, observe atentamente as partes de um motor de indução trifásico tipo gaiola de esquilo:



Aletas: expansões acrescentadas a uma superfície para ampliar a área da superfície de um corpo, a fim de aumentar a quantidade total de calor transmitida.

Na estator do motor, destacam-se:

- **carcaça (1)** – é a estrutura suporte do equipamento; de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e com **aletas** para auxiliar na refrigeração do motor;
- **núcleo de chapas do estator (2)** – as chapas são de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas no ferro e, conseqüentemente, aumentar o rendimento do motor;
- **enrolamento trifásico (8)** – composto por três conjuntos de bobinas, com as mesmas características, sendo uma para cada fase, formando um sistema trifásico ligado à rede trifásica de alimentação.

No rotor do motor, destacam-se:

- **eixo (7)** – transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor. É tratado termicamente para evitar problemas como empenamento e fadiga;
- **núcleo de chapas do rotor (3)** – as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator;
- **barras e anéis de curto-circuito (12)** – são de alumínio injetado sob pressão em uma única peça, nas quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do estator;
- **tampa dianteira (4)** – produzida, geralmente, com o mesmo material das chapas do estator. Servem de suporte para os rolamentos do lado do eixo do motor;
- **ventilador (5)** – fabricado em plástico ou metal, é projetado para mover grande quantidade de ar com pouco ruído;
- **tampa defletora (6)** – fabricada, geralmente, em aço ou ferro fundido, direciona o ar e otimiza a dissipação do calor;
- **caixa de ligação (9)** – fabricada, geralmente, em ferro fundido, podendo ser posicionada em giro de 90° em 90°, facilitando, assim, a instalação do motor. Tem a função de acomodar as conexões elétricas entre o motor e a rede elétrica;
- **terminais (10)** – pontos de conexão com a rede elétrica, têm a função de receber os cabos de alimentação do motor;

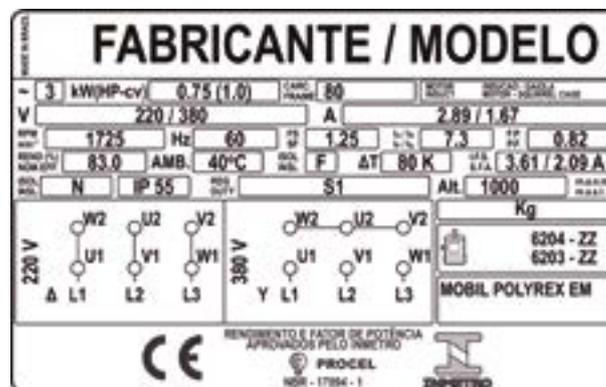
- **rolamentos de esferas (11)** – dimensionados para suportarem as solicitações mecânicas sem danos para o motor.

Dicas

A forma construtiva conhecida como rotor de gaiola de esquilo deve-se ao fato de que, se os condutores fossem analisados isoladamente, sua distribuição seria semelhante às rodas nas quais os esquilos correm fazendo exercício.

Antes de instalar um motor, é necessário conhecer suas especificações técnicas. As especificações ou características do motor, como, por exemplo, tensão de alimentação elétrica, corrente nominal, rotação, regime de serviço, informações construtivas, bem como informações de desempenho do motor, estão disponíveis na placa de identificação, fixada à carcaça do motor. Na figura a seguir é apresentada a ilustração de uma placa de identificação típica de um motor.

Placa de identificação dos motores



Para compreender melhor as informações apresentadas na placa de identificação de um motor de indução, leia com atenção os pontos a seguir. Normalmente, a placa de identificação de motores da maioria dos fabricantes apresenta as seguintes informações:

- **alimentação (~)** – indica que a alimentação é realizada através de sinal elétrico alternado. A placa de identificação anterior informa que o motor é alimentado por três fases (trifásico);
- **potência kW** (HP ou CV) – é a potência nominal de saída do motor que é disponibilizada no eixo em condições nominais de operação (tensão e frequência nominais). Pode ser informada em kW, cv ou hp. A placa de identificação anterior informa que a potência do motor é de 0,75 kW ou 1,0 cv ou hp;
- **rotação** (rpm) – é a velocidade de rotação do eixo do motor em condições nominais. Esse valor é dado em rotações por minuto (rpm). A placa de identificação anterior informa que a rotação do motor é de 1.725 rpm;
- **categoria** – é a característica de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida. A placa de identificação anterior informa que o motor é da categoria N;
- **tensão nominal de operação** – é a tensão nominal do motor, ou seja, a tensão da rede elétrica à qual o motor pode ser conectado para apresentar as condições nominais de operação. A placa de identificação anterior informa que o motor pode ser conectado à rede elétrica com tensão nominal do motor de 220 V ou 380 V;

- **corrente nominal de operação (I_n)** – é a corrente nominal do motor, ou seja, a corrente que será requerida da rede elétrica à qual o motor está conectado, quando o mesmo apresentar as condições nominais de operação. A placa de identificação anterior informa que o motor, ao ser conectado à rede elétrica, irá requerer uma corrente de 2,89 A (em 220 V) ou 1,67 A (em 380 V);
- **frequência nominal de operação** – é a frequência da rede para a qual o motor foi projetado, ou seja, a frequência da rede elétrica à qual o motor está conectado, quando o mesmo apresentar as condições nominais de operação. A placa de identificação anterior informa que a frequência nominal do motor é 60 Hz;
- **fator de serviço (FS)** – fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga que pode ser adotada continuamente ao motor, sob condições especificadas. A placa de identificação anterior informa que o fator de serviço do motor é de 1,25, isto significa que é possível requerer do motor uma potência adicional de 25% além da potência nominal, sem comprometer sua vida útil;
- **I_p** – representa a corrente de partida do motor, quando aplicada à tensão nominal com carga nominal acoplada ao seu eixo;
- **I_p/I_n** – representa a relação entre as correntes de partida e a corrente nominal. O valor desta relação indica quantas vezes a corrente elétrica exigida na partida é maior em relação à corrente nominal. A placa de identificação anterior informa que a relação I_p/I_n do motor é 7,3;
- **regime de serviço** – representa o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo (a carga é constante), por tempo indefinido. A placa de identificação apresenta que o regime de serviço é contínuo (S1).
- **rendimento (η)** – expressa a quantidade de energia elétrica que foi transformada em energia mecânica em condições nominais de operação. O seu valor, normalmente, é expresso em percentual. A placa de identificação anterior informa que o rendimento do motor é de 83%;
- **Fator de potência (FP ou $\cos \varphi$)** – representa o quanto da potência elétrica total é convertida em potência ativa, incluindo as perdas. O seu valor é expresso no intervalo de 0 a 1. A placa de identificação apresenta que o fator de potência do motor é 0,82.

Outras informações, como modelo, categoria, número de polos e orientações de ligação, também podem aparecer nas placas dos motores de indução.

A placa de identificação do motor é essencial para definir como os terminais de ligação do motor serão conectados à rede elétrica e o método de partida que será aplicado ao motor para que o mesmo entre em operação. Nos próximos capítulos, voltaremos a discorrer sobre a placa de identificação quando abordarmos os métodos de partida e os tipos de ligações dos terminais dos motores de indução.



Potencializando o conhecimento

Os motores de indução são aplicados em diversos ramos da indústria, inclusive em sistemas que requerem controle de velocidade. Nesse sentido, em relação às características de velocidade desse tipo de motor, é correto afirmar que:

- a) funcionam sempre em uma velocidade menor que a velocidade do campo girante (velocidade síncrona).
- b) podem funcionar com velocidade superior à velocidade síncrona, variando a frequência da rede.

c) podem funcionar com velocidade superior à velocidade síncrona, variando o número de polos do motor.

d) podem funcionar com velocidade superior à velocidade síncrona, variando a tensão de alimentação.

Comentário: se você escolheu a alternativa "a", acertou. Um motor de indução sempre irá apresentar escorregamento, ou seja, velocidade do rotor menor que a velocidade do campo girante no estator. Quando não há carga acoplada ao eixo (motor em vazio), a velocidade de rotação do rotor é ligeiramente menor que a velocidade de rotação síncrona, mas não igual.

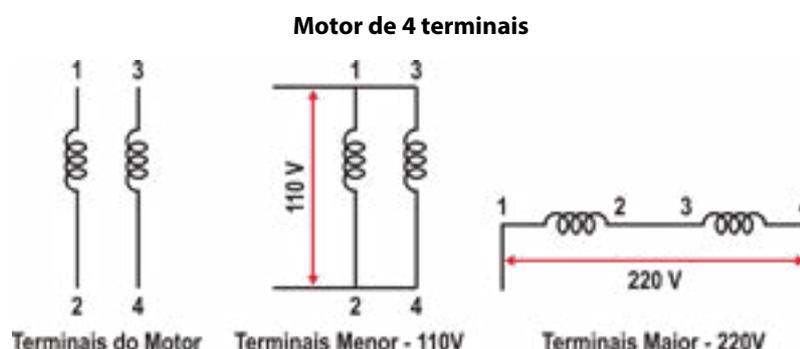
1.3 Tipos de ligação dos motores de indução

A definição de como o motor será conectado à rede elétrica depende das tensões de alimentação do motor e do número de terminais disponíveis para a conexão à rede elétrica.

Os motores, em sua grande maioria, disponibilizam na sua caixa de ligação os terminais de conexão entre as suas bobinas, possibilitando, assim, mais de um tipo de ligação entre as bobinas, de modo a permitir que o motor possa funcionar para mais de uma tensão.

Os principais tipos de religação de terminais de motores monofásicos para funcionamento em mais de uma tensão são:

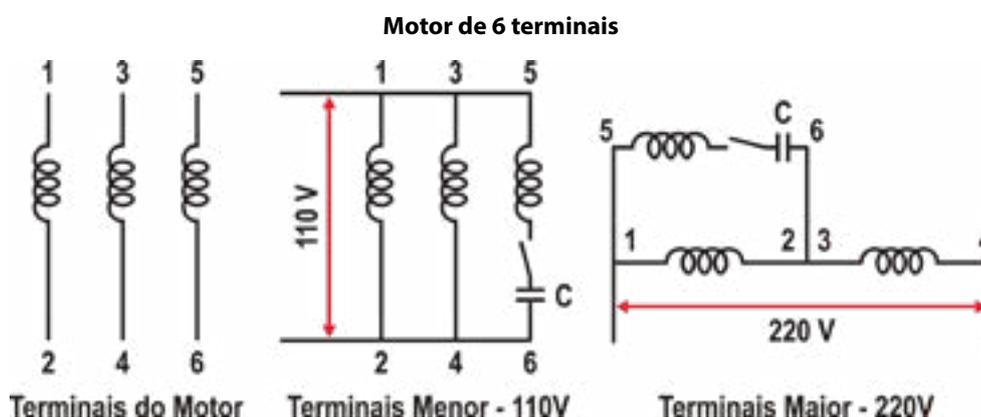
- **Motores de quatro terminais** – o motor é composto de 2 enrolamentos e, na caixa de ligação do motor, são disponibilizados 4 terminais. O enrolamento do motor é dividido em duas partes iguais, o que possibilita a energização do motor em dois níveis de tensão, denominados tensão maior e tensão menor, em que a relação entre essas tensões é 2. Para motores que permitem a operação em mais de uma tensão, a tensão de alimentação da bobina é sempre a menor tensão entre aquelas indicadas na placa de identificação do motor. Neste tipo de ligação, se as bobinas forem conectadas em paralelo, cada grupo de bobina deverá ser submetido à tensão menor. E, caso as bobinas sejam conectadas em série, cada grupo de bobina deverá ser submetido à tensão maior. A figura a seguir apresenta uma ilustração das conexões entre as bobinas para os dois tipos de ligação, tensão maior e tensão menor. Não é possível inverter o sentido de rotação desse tipo de motor.



Admitindo que um motor de 4 terminais possa ser energizado nas tensões 110 V ou 220 V, a tensão de alimentação de cada bobina deve ser a menor entre as duas tensões, ou seja, neste caso, 110 V. Assim, independentemente se o motor é alimentado em 110 V ou 220 V, a tensão nos terminais da bobina deve ser 110 V. Se a tensão da rede elétrica for 220 V, as bobinas serão ligadas em série e

cada bobina será submetida a 110 V. Se a tensão da rede elétrica for 110 V, as bobinas serão ligadas em paralelo e cada bobina será submetida a 110 V, como ilustrado na figura.

- **Motores de seis terminais** – o motor é composto de 3 enrolamentos, sendo 2 enrolamentos para operação normal do motor e 1 enrolamento auxiliar, utilizado somente durante a partida do motor. Na caixa de ligação do motor são disponibilizados 6 terminais. O enrolamento do motor é dividido em duas partes iguais, o que possibilita a energização do motor em dois níveis de tensão, denominados tensão maior e tensão menor, em que a relação entre essas tensões é 2. Neste tipo de ligação, se as bobinas forem conectadas em paralelo, cada grupo de bobina deverá ser submetido à tensão menor. E, caso as bobinas sejam conectadas em série, cada grupo de bobina deverá ser submetido à tensão maior. A figura a seguir ilustra as conexões entre as bobinas para os dois tipos de ligação, tensão maior e tensão menor.



Importante

Os motores monofásicos não possuem torque de partida, por isso são utilizados o capacitor de partida "C" em série com a bobina de terminais 5 e 6. O capacitor permite um maior ângulo de defasagem entre as correntes dos enrolamentos principal e auxiliar, proporcionando, assim, um elevado torque de partida.

Admitindo que um motor de 4 terminais possa ser energizado nas tensões 110 V ou 220 V, a tensão de alimentação de cada bobina deve ser a menor entre as duas tensões, neste caso é 110 V. Assim, independentemente se o motor é alimentado em 110 V ou 220 V, a tensão nos terminais da bobina deve ser 110 V. Se a tensão da rede elétrica for 220 V, as bobinas serão ligadas em série e cada bobina será submetida a 110 V. Se a tensão da rede elétrica for 110 V, as bobinas serão ligadas em paralelo e cada bobina será submetida a 110 V, como na figura anterior. A bobina de terminais 5 e 6 tem por função possibilitar a mudança do sentido de rotação do motor, bastando inverter os terminais 5 e 6.



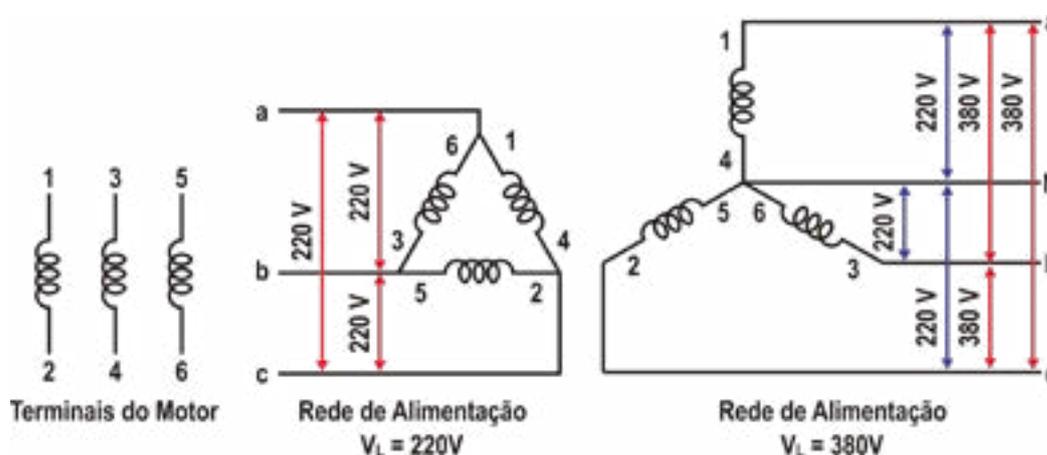
Dicas

O motor de indução monofásico de 6 terminais é projetado para girar o seu eixo no sentido horário ou anti-horário, dependendo da conexão dos terminais 5 e 6. Para inverter o sentido de rotação, basta inverter os terminais 5 e 6 para a ligação de maior ou menor tensão.

Os principais tipos de religação de terminais de motores trifásicos para funcionamento em mais de uma tensão são:

- **ligação estrela-triângulo** – o motor é composto de 3 enrolamentos e, na caixa de ligação do motor, são disponibilizados 6 terminais. Os motores que podem ser energizados em ligação estrela ou triângulo são projetados para duas tensões, nas quais a relação entre a tensão maior e a tensão menor é $\sqrt{3}$. Para motores que permitem a operação em mais de uma tensão, a tensão de alimentação da bobina é sempre a menor tensão entre aquelas indicadas na placa de identificação do motor. Neste tipo de ligação, se as bobinas forem conectadas em triângulo, cada grupo de bobina será submetido à tensão da linha (V_{ab} , V_{ac} e V_{bc}). Caso as bobinas sejam conectadas em estrela, cada grupo de bobina será submetido à tensão fase-neutro (V_{an} , V_{bn} e V_{cn}). Na figura a seguir é apresentada uma ilustração das conexões entre as bobinas para as ligações estrela e triângulo.

Ligação estrela-triângulo



Importante

Define-se tensão de fase como a tensão aplicada diretamente sobre a carga. Tensão de linha é a tensão entre duas fases.

Admitindo que um motor de 6 terminais possa ser energizado nas tensões 220 V ou 380 V, a tensão de alimentação de cada bobina deverá ser a menor entre as duas tensões, neste caso seria 220 V. Assim, independentemente se o motor for alimentado em 220 V ou 380 V, a tensão nos terminais da bobina deverá ser 220 V, como ilustrado na figura. Se a tensão de linha da rede elétrica for 220 V, o motor será ligado em delta e cada bobina, submetida a 220 V. Se a tensão de linha da rede elétrica for 380 V, o motor será ligado em estrela e cada bobina, submetida a 220 V.

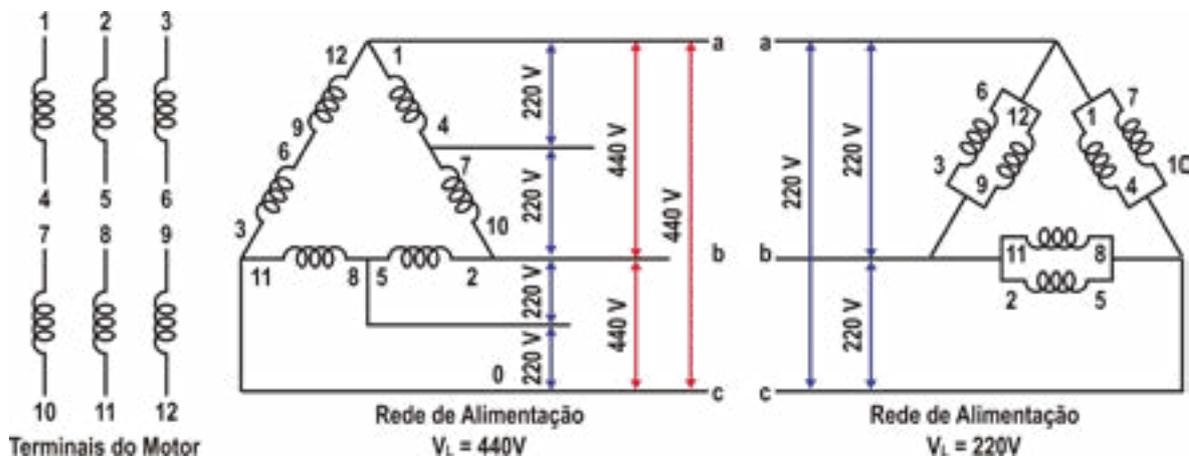
Dicas

Para motores que permitem a operação em mais de uma tensão, a tensão de alimentação da bobina é sempre a menor.

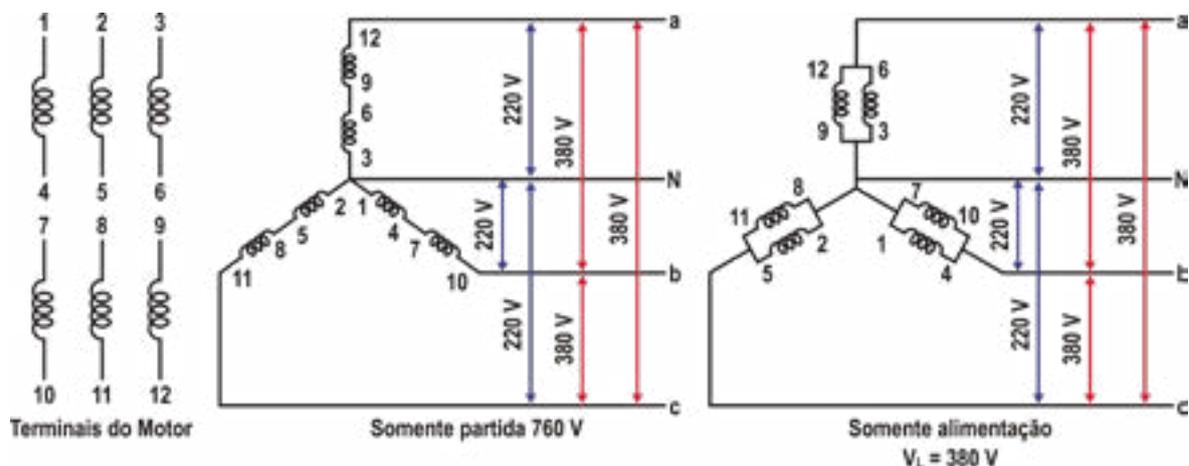
Além das tensões 220/380 V, outras tensões comuns em motores comerciais são 380/660 V e 440/760 V. Para as tensões 380/660 V e 440/760 V, a tensão maior declarada só serve para indicar que o motor pode ser acionado através de uma chave de partida estrela-triângulo.

- Ligação triângulo série e triângulo paralelo** – o motor é composto de 6 enrolamentos e na caixa de ligação do motor são disponibilizados 12 terminais. Os motores que podem ser energizados em ligação série-paralela são projetados para 3 tensões de operação, nas quais a relação entre a tensão maior e a tensão menor é 2, e a tensão intermediária e a tensão menor é $\sqrt{3}$. Se as bobinas forem conectadas em triângulo série, cada grupo de bobina será submetido a 50% da tensão da linha ($V_{ab}/2, V_{ac}/2$ e $V_{bc}/2$). Se as bobinas forem conectadas em triângulo paralelo, cada grupo de bobina será submetido à tensão da linha (V_{ab}, V_{ac} e V_{bc}). Se as bobinas forem conectadas em estrela série, cada grupo de bobina será submetido a 50% da tensão fase-neutro ($V_{an}/2, V_{bn}/2$ e $V_{cn}/2$). Se as bobinas forem conectadas em estrela paralelo, cada grupo de bobina será submetido à tensão fase-neutro (V_{an}, V_{bn} e V_{cn}). Nas figuras a seguir são apresentadas ilustrações das conexões entre as bobinas para as ligações estrela e triângulo, série e paralelo.

Ligação triângulo série-paralelo



Ligação estrela série-paralelo



Admitindo que um motor de 12 terminais possa ser energizado nas tensões 220 V, 380 V ou 440 V, a tensão de alimentação de cada bobina deve ser a menor entre as três tensões, neste caso é 220 V. Assim, independentemente se o motor é alimentado em 220 V ou 380 V ou 440 V, a tensão nos terminais da bobina deverá ser 220 V, como ilustrado na figura. Se a tensão de linha da rede elétrica for 220 V, o motor é ligado em delta paralelo e cada bobina será submetida a 220 V. Se a tensão de linha da rede elétrica for 380 V, o motor será ligado em estrela paralelo e cada bobina, submetida a 220 V. Se a tensão de linha da rede elétrica for 440 V, o motor será ligado em delta série e cada bobina, submetida a 220 V.

Saiba mais

O motor de indução trifásico é projetado para girar o seu eixo no sentido horário ou anti-horário, dependendo da sequência de fases da fonte elétrica. Para inverter o sentido de rotação basta inverter duas fases de alimentação do motor.



Além das tensões 220/380/440 V, há motores que indicam, na placa de identificação, as tensões 220/380/440/760 V. Neste caso, a tensão maior declarada só serve para a partida do motor através de uma chave série-paralela.

Potencializando o conhecimento

Um motor de doze terminais apresenta na sua placa de identificação as tensões 220/380/440/760 V. Sobre a tensão de alimentação desse motor, é correto afirmar que:

- a) a tensão aplicada diretamente nos terminais das bobinas deverá ser 220 V.
- b) a tensão aplicada diretamente nos terminais das bobinas deverá ser 380 V.
- c) a tensão aplicada diretamente nos terminais das bobinas deverá ser 440 V.
- d) a tensão aplicada diretamente nos terminais das bobinas deverá ser 760 V.

Comentário: se você escolheu a alternativa "a", acertou. Para motores que permitem a operação em mais de uma tensão, a tensão de alimentação da bobina será sempre a menor.



1.4 Sistemas de partida de motores elétricos de indução



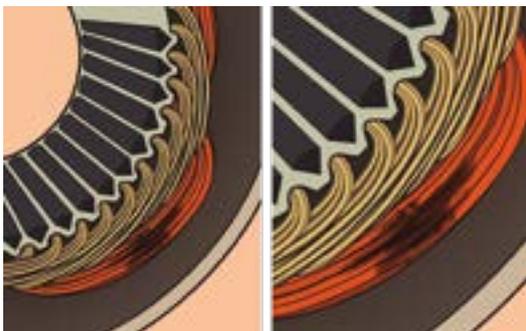
Iniciar a partida de um motor de indução pode, a princípio, parecer bastante simples, bastando apenas energizar o motor com a rede elétrica, como é realizado nas residências com o ventilador, o liquidificador etc. Contudo, essa simplicidade se resume aos equipamentos residenciais em virtude da baixa potência que eles apresentam. Para as instalações industriais, que fazem uso de motores de alta potência, antes de definir como se dará a energização do motor, algumas informações preliminares devem ser conhecidas, entre elas destacam-se:

- conhecer as características da rede elétrica à qual o motor será conectado;
- conhecer as especificações elétricas do motor (tensão de alimentação e número de terminais);
- conhecer o regime operacional do equipamento ou do sistema que o motor será instalado (número de operações por hora).

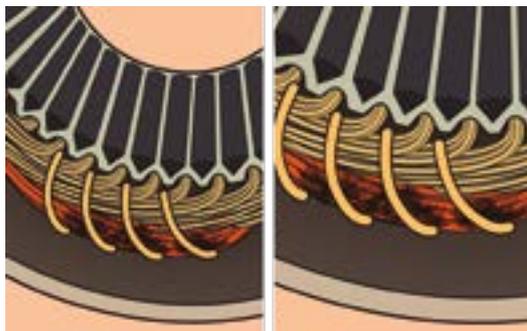
O pleno conhecimento das características elétricas e operacionais do motor e do sistema é imprescindível para o correto dimensionamento dos componentes do sistema de partida, caso contrário, a partida não será bem sucedida e poderá provocar avarias ou, até mesmo, a queima dos enrolamentos do motor.

Principais avarias

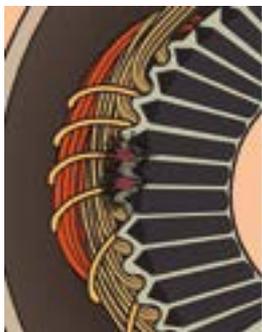
Curto entre espiras no enrolamento principal



Curto entre enrolamentos principal e auxiliar



Curto entre espiras no enrolamento auxiliar



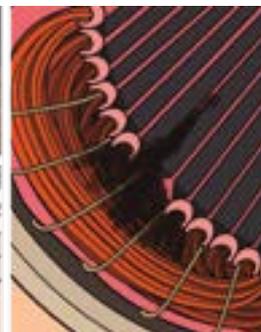
Metade do enrolamento principal sobreaquecido



Curto na conexão



Curto na saída da ranhura



Curto dentro da ranhura



Rotor travado



Sobreaquecimento no enrolamento principal



Sobreaquecimento no enrolamento auxiliar



Os sistemas de acionamento de motores elétricos são circuitos cuja finalidade é possibilitar a energização desse motor, além do controle, da proteção e do monitoramento das grandezas elétricas associadas ao motor, principalmente a corrente e a tensão. O circuito de acionamento deste tipo de motor faz uso dos dispositivos elétricos para o exercício de uma série de funções. Entre as principais funções no circuito, pode-se destacar:

- seccionamento;
- proteção contra curto-circuito;
- proteção contra sobrecarga;
- manobra.

O dimensionamento do sistema de acionamento do motor pode ser dividido em três etapas, sendo elas:

- definição do método de acionamento;
- dimensionamento dos dispositivos do sistema de acionamento e proteção;
- dimensionamento dos condutores de alimentação do motor e do sistema de acionamento.

Acionando um motor elétrico por mais de um ponto

Para dimensionarmos o método de partida do motor, uma grandeza determinante é a corrente nominal do motor. Vamos, então, entender como ela é calculada.

Para os motores monofásicos e bifásicos, adotamos a seguinte equação:

$$I_n = \frac{P}{V \cdot FP \cdot \eta}$$

Para os motores trifásicos, adotamos a seguinte equação:

$$I_n = \frac{P}{3 \cdot V \cdot FP \cdot \eta}$$

Em que:

- I_n – corrente nominal do motor;
- P – potência nominal no eixo do motor (W);
- V – tensão nominal de alimentação do motor (tensão fase-neutro para motor monofásico e tensão fase-fase para motores bifásicos e trifásicos);
- FP – fator de potência do motor;
- η – rendimento do motor.



A definição do método de partida está geralmente associada à corrente de partida do motor, a qual apresenta um valor superior à corrente em regime normal de operação. A corrente de partida

pode atingir um valor de pico de 6 a 8 vezes o valor da corrente nominal. Esse pico de corrente, na maioria dos casos, é um problema tanto do ponto de vista do custo da instalação elétrica, que demanda condutores de maior seção, quanto do ponto de vista da qualidade e da eficiência energética, que provoca o aumento das quedas de tensão na rede elétrica.

O emprego de técnicas que fazem uso de chaves de partida eletromecânicas e eletromagnéticas ou de chaves de partida baseadas em eletrônica de potência (*soft-starters* e inversor de frequência) tem a função de limitar a corrente de partida para reduzir os impactos negativos na rede elétrica em função da alta corrente durante a partida. Para definição do método de partida, os critérios adotados podem ser assim estabelecidos:

- característica da máquina a ser acionada e os custos relativos entre motor e sistema de partida;
- circunstância de disponibilidade da potência de alimentação devido aos picos de potência requerida na partida;
- confiabilidade de serviço;
- distância da fonte de alimentação, devido à condição de queda de tensão (normal).



Saiba mais

Além dos critérios apresentados, para garantir a segurança dos operadores e das máquinas, os sistemas de acionamento de motores devem ser projetados de forma a prevenir a partida automática de um motor após a parada em função de uma falta ou uma queda de tensão, caso tal partida puder causar algum risco.

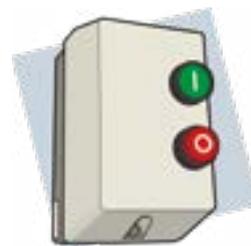
Exemplo: uma serra elétrica desligada devido à falta de energia, só irá funcionar mediante o comando do operador, e não à volta da energia apenas, pois seu acionamento, sem o devido comando, poderia acarretar sérios danos físicos a quem estivesse próximo.

Os sistemas de acionamento de motores possuem dois circuitos, são eles:

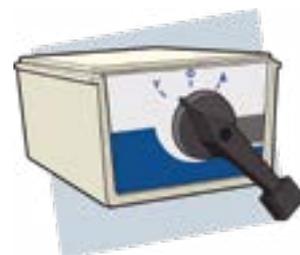
- **circuito principal** – apresenta o circuito de alimentação do motor e nele estão contidos todos os dispositivos de seccionamento, manobra e proteção do motor, que são os responsáveis pela condução e pelo seccionamento da corrente elétrica para alimentação do motor;
- **circuito de comando** – apresenta o circuito de controle do motor e nele estão contidos todos os dispositivos responsáveis pela lógica de acionamento dos dispositivos de manobra e proteção do motor. É o circuito de comando que indica como acionar o motor e o funcionamento das proteções auxiliares.

Para o acionamento dos motores de indução tipo gaiola de esquilo, os principais métodos de partida são:

- **partida direta** – neste tipo de partida, a tensão da rede elétrica é aplicada diretamente nos terminais do motor sem redução do seu valor, ou seja, o motor recebe a tensão nominal da rede tão logo o mesmo seja colocado em operação;



- **chave estrela-triângulo** – neste tipo de partida, a tensão da rede elétrica é reduzida para $1/\sqrt{3}$ e aplicada diretamente nos terminais do motor. Em um segundo instante, quando o rotor atinge a velocidade próxima da velocidade nominal, o motor recebe a tensão nominal da rede;



- **chave compensadora** – neste tipo de partida, a tensão da rede elétrica é, geralmente, reduzida para 65% ou 80% e aplicada diretamente nos terminais do motor. Em um segundo instante, quando o rotor atinge a velocidade próxima da velocidade nominal, o motor recebe a tensão nominal da rede. Para a redução da corrente de partida é usado um autotransformador com 2 ou 3 derivações. Atualmente, a maioria dos autotransformadores empregados possuem 2 derivações (65% e 80%).

- **partida eletrônica (soft-starter)** – neste tipo de partida, o controle da tensão aplicada no motor é feito mediante um escalonamento da fração da tensão de alimentação fornecida a cada instante, em um dado número de semiciclos de tensão, que pode ser ajustado às características desejadas até o seu valor pleno. Esse programa de escalonamento é executado por meio de dispositivos de eletrônica de potência (estado sólido), os quais consistem em um conjunto de pares de **tiristores** (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, um em cada **borne** de potência do motor.



Tiristores: dispositivo de chaveamento que realiza o fechamento e a abertura de trechos de circuito, similar a um interruptor, mas sem partes móveis.



- **partida eletrônica (inversor de frequência)** – neste tipo de partida, o acionamento do motor é realizado através do controle da rotação do motor. Na aplicação dos inversores de frequência, o motor de indução, diferentemente do que acontece quando ligado diretamente à rede de distribuição de energia elétrica, é alimentado com frequência e tensão variável. Isso possibilita obter velocidade variável no eixo do próprio motor. Os inversores de frequência modernos utilizam para a combinação de abertura e fechamento das chaves uma estratégia chamada de PWM (*Pulse Width Modulation*) ou Modulação por Largura de Pulsos. Essa estratégia permite a geração de ondas senoidais de frequência variável com resolução de até 0,01 Hz.

Quando se projeta um sistema de acionamento, o projetista define como será estabelecida a coordenação das proteções. Admite-se que um circuito elétrico esteja protegido contra curto-circuito quando o dano ocasionado pela falha não interfere nos demais circuitos da instalação, tão pouco põe em risco as pessoas envolvidas direta ou indiretamente com o circuito elétrico em falha. Em resumo, a falha não se propaga.

Borne: ponto no qual um condutor ou terminal elétrico é conectado.

Dicas

A Norma ABNT NBR IEC 60947-4-1 prevê que o fabricante deve especificar o tipo ou as características do dispositivo de proteção contra curto-circuito para ser instalado junto com o equipamento.



A IEC 60947-4-1 define dois tipos de coordenação da proteção, as quais especificam o grau de avarias aceitáveis para os componentes após um curto-circuito:

- **a coordenação do tipo 1** – requer que, em condições de curto-circuito, o contator ou a chave de partida não ocasione perigo para as pessoas ou as instalações, e não pode ser colocado, em seguida, em regime de carga, sem que haja reparo ou substituição de partes.
- **a coordenação do tipo 2** – requer que, em condições de curto-circuito, o contator ou a chave de partida não ocasione perigo para as pessoas ou as instalações e pode ser colocado em regime de carga em seguida. O risco da soldagem dos contatos é admitido; neste caso, o fabricante deve indicar as medidas necessárias referentes à manutenção do equipamento.



Potencializando o conhecimento

Um electricista, ao analisar um motor trifásico instalado em uma máquina, observou em sua placa de identificação as seguintes características: potência de 2,2 kW, rendimento de 85% e fator de potência de 0,81. Ele notou, ainda, que o motor pode ser energizado em 2 tensões diferentes (220 V ou 380 V). Em relação à corrente nominal para a tensão de alimentação de 380 V, assinale a alternativa correta.

- a) 11,47 A.
- b) 8,41 A.
- c) 6,62 A.
- d) 4,85 A.

Comentário: se você escolheu a alternativa "d", acertou. Um modo de encontrarmos a solução é adotando a seguinte equação:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times FP \times \eta} = \frac{P}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,81 \times 0,85} = 3.600 \text{ rpm}$$

Resumindo

Nesta lição, estudamos os princípios básicos de funcionamento dos motores elétricos e sua importância para o setor industrial. Vimos, ainda, que a energização dos motores industriais deve ser precedida de decisões técnicas para minimizar o risco de falhas de operação e, até mesmo, a queima do motor. Além disso, instruiu-se que esses componentes devem seguir critérios técnicos de dimensionamento que lhes assegurarão a correta operação no circuito elétrico.

Veja se você se sente apto a:

- explicar o princípio de funcionamento dos motores elétricos;
- listar os principais conceitos sobre o motor de indução;
- identificar os aspectos operacionais do motor de indução tipo gaiola de esquilo;
- explicitar a importância e a aplicação dos motores elétricos nos processos industriais.

Exercícios

Questão 1 - Um motor trifásico apresenta uma velocidade síncrona de 1.800 rpm. Entretanto, a velocidade de rotação do rotor é de 1.750 rpm. Em termos percentuais, o escorregamento do motor é de:

- a) 2,78.
- b) 2,86.
- c) 97,14.
- d) 97,22.

Questão 2 - Um motor elétrico síncrono foi energizado em uma rede elétrica de 50 Hz e, posteriormente, em uma rede elétrica de 60 Hz. O resultado das medições indicou que houve uma variação de 600 rpm na velocidade de rotação do rotor. Em função dessas medições, é correto afirmar que o número de polos do motor é:

- a) 2.
- b) 4.
- c) 6.
- d) 8.

Questão 3 - Sobre os aspectos construtivos do motor elétrico de indução tipo gaiola de esquilo, julgue os itens e, em seguida, marque a alternativa correta.

- a) O rotor é dotado de barras e anéis de curto-circuito nos quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do estator.
- b) O rotor é dotado de barras e anéis de circuito aberto nos quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do estator.
- c) O estator é dotado de barras e anéis de curto-circuito nos quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do rotor.
- d) O estator é dotado de barras e anéis de circuito aberto nos quais são induzidas correntes provocadas pelas bobinas do rotor.

Questão 4 - O motor elétrico de indução deve ser projetado de tal modo que sua estrutura física possibilite a dissipação de calor do mesmo. Neste sentido, podemos considerar que as partes constituintes do motor listadas a seguir tem, entre as suas funções, a dissipação de calor, exceto:

- a) o ventilador.
- b) a tampa defletora.
- c) a carcaça.
- d) o eixo.



Parabéns, você finalizou esta lição!

Agora responda às questões ao lado.

Questão 5 - Quanto à localização das bobinas de campo nos motores elétricos de indução tipo gaiola de esquilo, é correto afirmar que:

- a) serão sempre instaladas no rotor.
- b) serão sempre instaladas no estator.
- c) podem ser instaladas no estator ou no rotor, a depender do modelo.
- d) podem ser instaladas no estator ou no rotor, a depender da potência.

Questão 6 - Os motores elétricos de indução possuem uma relação direta entre a velocidade de rotação do eixo e o conjugado desenvolvido. Neste sentido, analise os itens a seguir e assinale a alternativa correta.

- a) O motor de indução tem conjugado máximo à velocidade síncrona.
- b) O motor de indução tem conjugado nominal à velocidade síncrona.
- c) O motor de indução tem conjugado igual a zero à velocidade síncrona.
- d) O motor de indução tem conjugado constante para qualquer velocidade.

Questão 7 - Os equipamentos elétricos possuem uma relação direta entre o rendimento e as perdas do equipamento e, nos motores elétricos de indução, esta relação também se apresenta. Nesse sentido, analise os itens a seguir e assinale a alternativa correta.

- a) Quanto menor as perdas de um motor, maior o seu rendimento.
- b) Quanto menor as perdas no cobre de um rotor, maior o seu rendimento.
- c) Quanto menor as perdas no cobre de um estator, maior o seu rendimento.
- d) Quanto menor as perdas proporcionais de um motor, maior o seu rendimento.

Questão 8 - Uma determinada indústria possui um motor com as seguintes características: potência nominal de 15 kW, rendimento de 90% e fator de potência de 0,79. Ele observou, ainda, que o motor pode ser energizado em 2 tensões diferentes (220 V ou 380 V). Em relação à corrente nominal para a tensão de alimentação de 220 V, qual das alternativas é a correta?

- a) 32,05 A.
- b) 35,62 A.
- c) 55,51 A.
- d) 61,69 A.

Questão 9 - O sistema de medição de energia elétrica de uma indústria registrou que a potência requerida do motor de uma esteira variava ao longo do dia. Na situação de potência máxima, foi registrado o pico de 60 kW e 108 A nos terminais de alimentação do motor. Sabendo-se que a tensão de alimentação do motor é 380 V e o rendimento é de 93,9%, assinale a alternativa que determina corretamente o seu fator de potência.

- a) 0,79.
- b) 0,84.

c) 0,90.

d) 0,96.

Questão 10 - Sobre a corrente de partida de um motor de indução, todas as alternativas estão corretas, exceto a que afirma que ela:

a) é sempre maior que a corrente nominal.

b) provoca o aumento nas quedas de tensão na alimentação do motor.

c) provoca a redução nas quedas de tensão na rede elétrica.

d) é fator determinante para a definição do método de partida do motor.