

Atuadores

Aula 04 - Motores elétricos assíncronos ligados à rede trifásica



Apresentação

Nesta aula, dando continuidade ao estudo dos atuadores, conheceremos os motores ligados à rede de corrente alternada trifásica, também conhecidos como Máquinas de Indução Trifásica (MIT). Devido à simplicidade de sua construção, robustez e fácil manutenção, essas máquinas são as mais utilizadas pelas indústrias. Iniciando o estudo dos atuadores trifásicos, explicaremos alguns conceitos básicos e características de funcionamento. Em seguida, serão expostos os modelos existentes no mercado das máquinas de corrente alternada trifásicas, suas características construtivas, princípio de funcionamento e, finalmente, o equacionamento utilizado nesses motores.



Objetivos

Identificar os modelos de máquinas trifásicas existentes.

Descrever o princípio de funcionamento e as características do Motor de Indução Trifásico (MIT).

Especificar os conceitos básicos e elementares relativos a máquinas elétricas trifásicas.

Selecionar e aplicar motores trifásicos a partir das condições básicas de funcionamento, como potência, torque, velocidade, entre outras.

1. Modelos de máquinas trifásicas

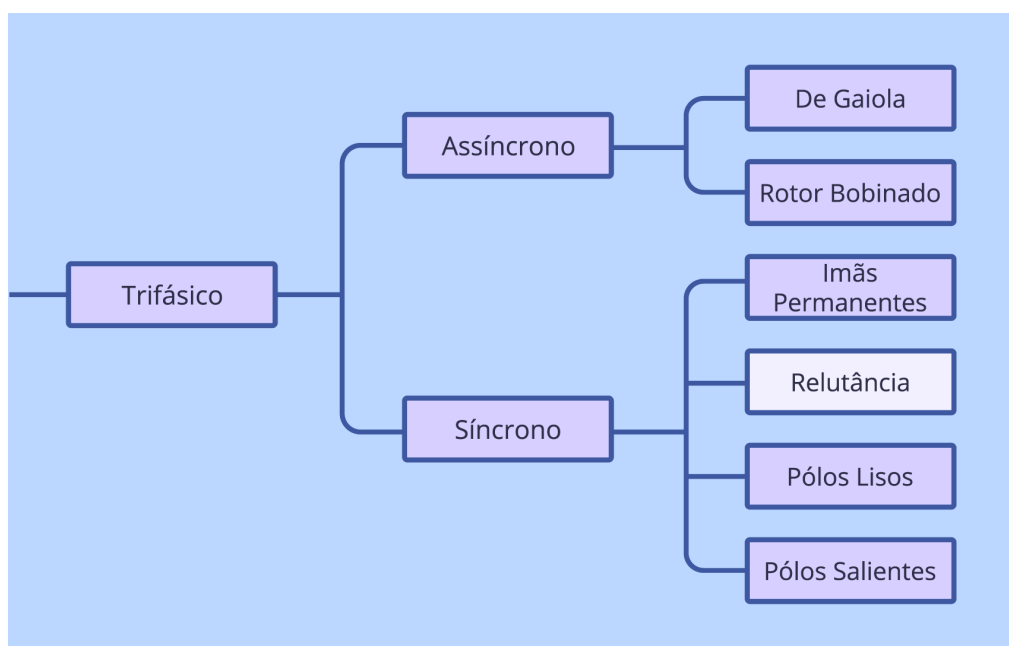
Os motores trifásicos são divididos em duas categorias: a dos síncronos e a dos assíncronos. Neste estudo, veremos apenas os motores assíncronos, pois eles são os mais utilizados como atuadores, devido à sua robustez, além de serem empregados em ambientes hostis, empoeirados, navais e até mesmo explosivos. Assim, os motores trifásicos assíncronos são produzidos com dois tipos de rotores: o rotor bobinado e o rotor curto-circuitado gaiola de esquilo.

Lembra que na aula anterior fizemos o mesmo comentário ao falar sobre as velocidades dos motores monofásicos síncronos e assíncronos? Contudo, os motores trifásicos, embora sigam o mesmo princípio das velocidades, são estruturas físicas diferentes, pois apresentam um número maior de bobinas e possuem campo girante em vez de campo pulsante.

O termo “assíncrono” é utilizado em razão de a velocidade de rotação do rotor não ser igual à velocidade de rotação do campo girante criado pelo estator, isto é, o movimento do rotor não é síncrono com o movimento do campo girante do estator. Por outro lado, o termo “indução” refere-se à utilização do movimento de rotação do rotor como o resultado do aparecimento de forças eletromotriz “*fem*” induzidas no rotor.

O modelo com rotor bobinado é pouco empregado em virtude de sua manutenção ser mais frequente. Já o rotor do tipo gaiola é muito utilizado devido à sua robustez, simplicidade na manutenção e baixo custo. Na Figura 01 podemos ver a divisão dos motores trifásicos de acordo com as suas formas.

Figura 01 - Modelos de motores trifásicos e suas formas construtivas



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

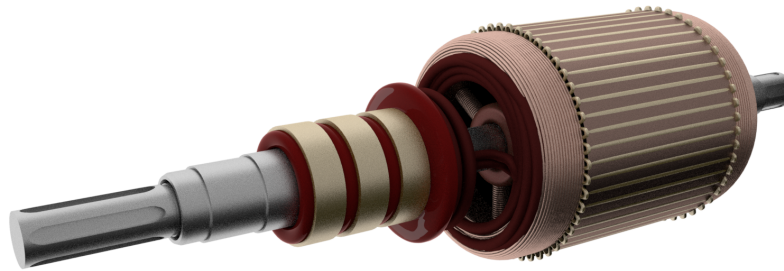
1.1 Motor com rotor bobinado

Embora seu custo seja mais elevado do que o motor de gaiola, a aplicação de motores de anéis, ou com o rotor bobinado, é necessária para partidas pesadas (elevada inércia), para o acionamento de velocidade ajustável ou para os casos em que é preciso limitar a corrente de partida mantendo um alto conjugado de partida.

O motor trifásico com rotor bobinado foi desenhado para atender a uma necessidade de partida suave da indústria. A finalidade do rotor bobinado é permitir que sejam inseridas resistências em série com o enrolamento trifásico do rotor, de modo que a velocidade imprimida seja controlada. Tem-se, portanto, um enrolamento trifásico no estator e um enrolamento com três saídas no rotor.

O contato entre o rotor e o meio externo é feito por escovas conectadas a três anéis fixos no eixo do rotor, aos quais estão ligadas as três terminações do bobinado do rotor, como pode ser visto na Figura 02.

Figura 02 - Anéis coletores com escovas do rotor bobinado



O rotor bobinado possui uma impedância maior do que a impedância do rotor gaiola de esquilo, por constituir-se de enrolamento de fio de cobre. Consequentemente, podemos esperar que ele tenha uma corrente de partida menor para desempenhar o mesmo torque desempenhado em um motor com rotor tipo gaiola. O mais importante é que esse enrolamento, disponível na saída pelos anéis, permite a inserção de resistências em série, possibilitando o aumento da impedância do rotor a valores desejados.

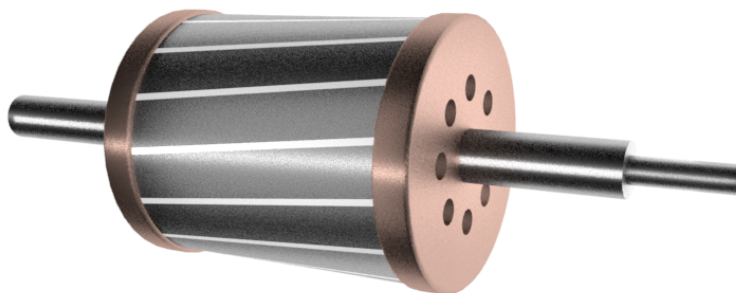
Desse modo, podemos suavizar o controle da velocidade do motor na partida, pois as resistências bloqueiam o aumento da corrente de partida, produzindo um fenômeno que compromete o sistema elétrico, mas que não prejudica de maneira extrema o conjugado do motor. Assim, o motor de rotor bobinado tem uma boa relação torque de partida por corrente de partida, se comparado ao motor com o rotor tipo gaiola.

1.2 Motor com rotor tipo gaiola de esquilo

Como já dito, o motor assíncrono com o rotor tipo gaiola de esquilo é o mais empregado em qualquer aplicação industrial, devido à sua construção robusta e simples, além de ser a solução mais econômica, tanto em termos de motores que apresentam pouca manutenção quanto em termos de acionamento, uma vez que para acioná-lo não é necessário comando e proteção mais sofisticados.

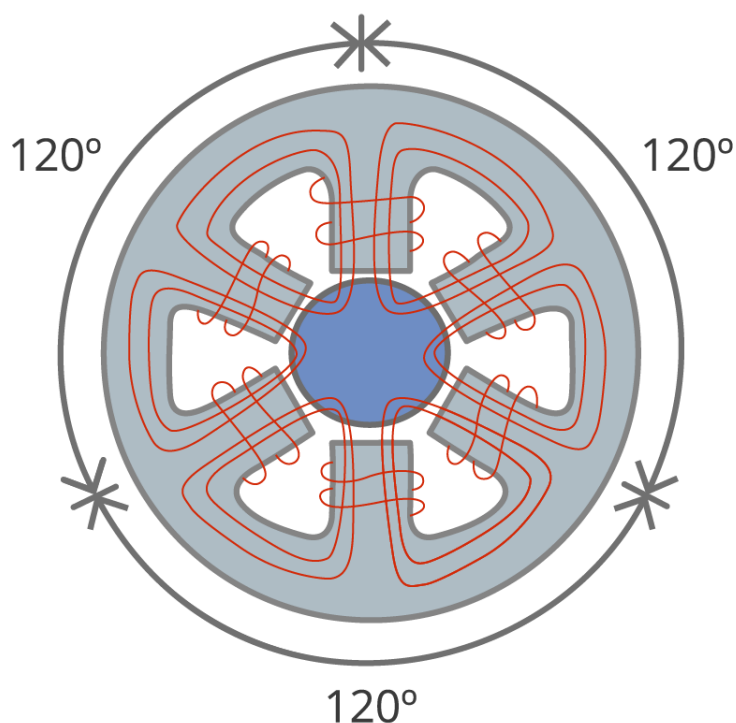
Esse motor possui, basicamente, um estator com enrolamento trifásico e um rotor tipo gaiola de esquilo que pode ser visto na Figura 03.

Figura 03 - Rotor curto-circuitado tipo gaiola de esquilo



O enrolamento trifásico, visto na Figura 04, é responsável pela criação do campo magnético que se desloca pelas três bobinas em função da defasagem angular e da frequência da rede elétrica que o alimenta. Dessa forma, esse campo magnético é chamado de campo girante, o qual será melhor explicado logo a seguir, ao tratarmos do princípio de funcionamento do motor (MIT).

Figura 04 - Bobinas de um MIT distribuídas entre si à 120°



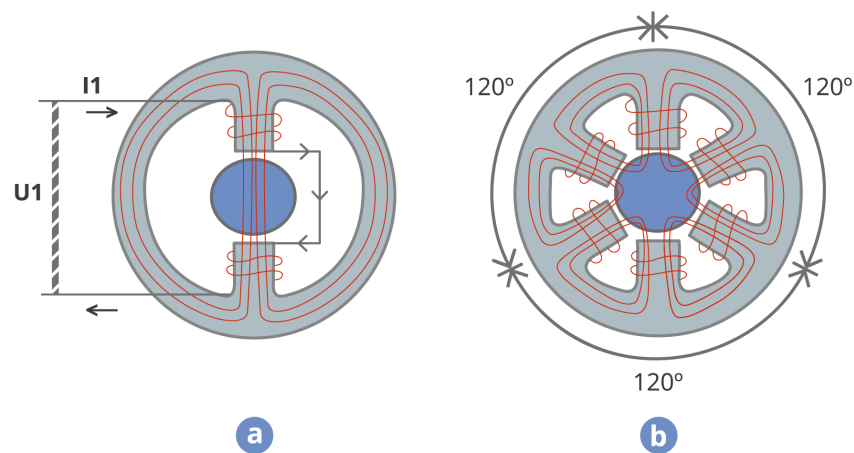
Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

1.3 Princípio de funcionamento

Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e do valor proporcional à corrente.

Na Figura 05 (a) é indicado um enrolamento monofásico atravessado por uma corrente " I " que, por sua vez, cria o campo " H "; o enrolamento é constituído por um par de polos (um NORTE e um SUL), cujos efeitos se somam para estabelecer o campo H . O fluxo atravessa o rotor entre os dois polos e se fecha através do núcleo do estator. Se a corrente " I " for alternada, o campo " H " também será alternado. O campo " H " é pulsante, pois sua intensidade varia de modo proporcional à corrente, sempre na mesma direção norte-sul.

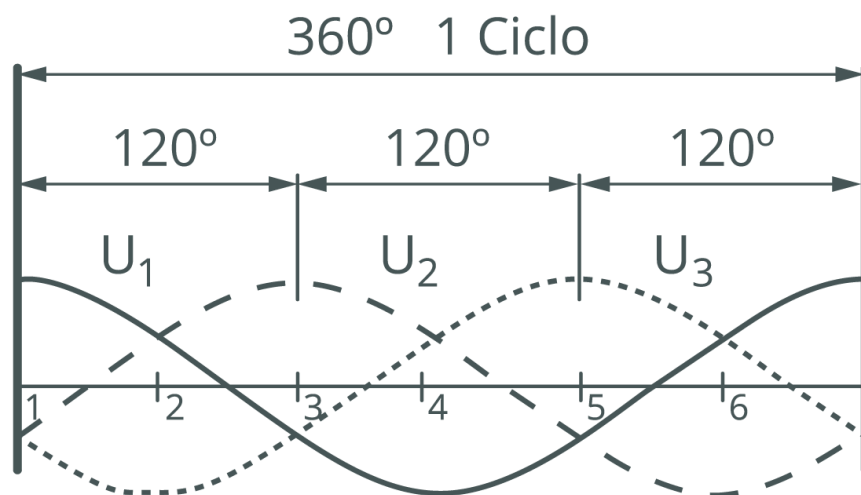
Figura 05 - (a) estator monofásico, (b) estator trifásico



Fonte: Adaptado de Umans, Kingsley Júnior, Fitzgerald (2006).

Na Figura 05 (b) é indicado um enrolamento trifásico composto por três monofásicos de 120° espaçados entre si. Se esse enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, conforme ilustra a Figura 06, serão criadas correntes " I_1 ", " I_2 " e " I_3 " e, conseqüentemente, surgirão os campos magnéticos " H_1 ", " H_2 " e " H_3 ", sendo tanto as correntes quanto os campos defasados no tempo da tensão.

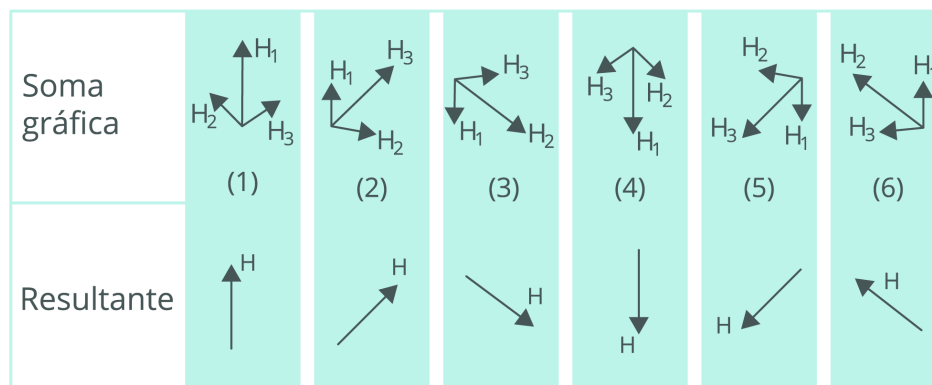
Figura 06 - Sistema trifásico com tensão defasada de 120°



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Esses campos possuem entre si espaçamento de 120° . Além disso, como são proporcionais às respectivas correntes, terão uma defasagem angular de 90° , podendo ser representados por um gráfico igual ao da Figura 07, no qual, para facilitar a compreensão, alinhamos os campos às tensões. Assim, a cada instante, o campo total “H” resultante será igual à soma gráfica dos três campos “H1”, “H2” e “H3” nesse determinado instante.

Figura 07 - Soma gráfica dos campos para 6 pontos diferentes



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

No ponto (1) da Figura 06 vemos que a tensão U_1 está no seu valor máximo e que U_2 e U_3 são negativas e possuem o valor 0,5. Os três campos formados por essas tensões estão representados no ponto (1), na parte de cima da Figura 07, já na parte de baixo da figura é mostrado o campo resultante (soma gráfica) entre os campos.

Repetindo a construção para os pontos (2), (3), (4), (5) e (6) da Figura 07, podemos observar que o campo resultante “H” tem intensidade constante, mas sua direção vai girando, completando uma volta no fim de um ciclo. Assim, quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, cria-se um CAMPO GIRANTE de intensidade constante, como se houvesse um único par de polos girantes.



Saiba mais

No vídeo Campo magnético Girante – Motor Elétrico Trifásico, disponível através do link <<https://www.youtube.com/watch?v=2mMx1AsNyJo>> vemos a representação de um motor trifásico com três bobinas defasadas 120° entre si, sendo alimentadas por uma tensão, também defasada, de 120°. Observando essas bobinas, é possível perceber o comportamento do campo magnético se formando e passando por cada uma delas. No final, são apresentadas as partes de um motor.

Esse campo girante, criado pelo enrolamento trifásico do estator, induz tensões nas barras do rotor a partir da variação do fluxo que cortam estas barras. Por sua vez, como estas barras se apresentam em um circuito fechado, irão circular correntes induzidas com polaridade oposta a do campo girante, criando um campo magnético de sentido oposto ao do campo girante. Como o campo do estator (CAMPO GIRANTE) é rotativo e campos opostos se atraem, o rotor tenderá a acompanhar essa rotação do campo girante. Então será criado no rotor um conjugado motor capaz de mover a carga.

2. Conceitos básicos de máquinas elétricas

2.1 Velocidade síncrona

A velocidade síncrona do motor é definida pela velocidade de rotação do CAMPO GIRANTE. Já a velocidade de rotação desse campo depende do número de polos ($2p$) do motor e da frequência (f) da rede, em hertz. Os enrolamentos podem ser construídos com um ou mais pares de polos, que se distribuem alternadamente (um **norte** e um **sul**) ao longo da periferia do núcleo magnético. O campo girante percorre um par de polos (p) a cada ciclo. Assim, como o enrolamento tem polos ou (p) pares de polos, a velocidade do campo será calculada por:

$$N_s = \frac{60 * f}{p}, \text{ ou } N_s = \frac{120 * f}{2p}$$

Onde:

N_s – Velocidade síncrona do motor (rpm);

f – Frequência da rede elétrica (Hz);

p – Polos das bobinas (norte e sul).

Por exemplo: a velocidade síncrona de um motor de 6 polos alimentado por uma rede elétrica que tenha a frequência de 60 Hz é:

$$N_s = \frac{120 * 60}{6} = 1200 \text{ (rpm)}$$



Atividade 01

Construa uma tabela com os cálculos das velocidades síncronas para motores de 2, 4, 6, 8 e 10 polos, considerando que eles são alimentados por uma rede trifásica na frequência de 50 e 60 Hz. Utilize a equação explicada anteriormente.

2.2 Velocidade assíncrona

A velocidade nominal em (rpm) é observada com o motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais. Ela pode ser calculada pela equação a seguir e dependerá do escorregamento e da velocidade síncrona.

$$N = \frac{120 * f}{2p} * (1 - S)(rpm)$$

Onde:

N_s – Velocidade do síncrona do motor (rpm);

f – Frequência da rede elétrica (Hz);

p – Polos das bobinas (norte e sul);

S – Escorregamento (decimal).

2.3 Escorregamento

Vimos, na fórmula da velocidade assíncrona de um motor, que surgiu uma nova variável: o escorregamento. Mas o que é isso?

Se o motor gira a uma velocidade diferente da velocidade síncrona, ou seja, diferente da velocidade do campo girante, o enrolamento do rotor “corta” as linhas de força magnética do campo estacionário e, de acordo com as leis do eletromagnetismo, circularão no rotor correntes induzidas.

Portanto, à medida que a carga aumenta na ponta do eixo, ocorre uma diminuição da rotação do motor. Assim, quando a carga for zero (motor em vazio), o rotor girará praticamente com a rotação síncrona.

A diferença entre a velocidade do motor “ N ” e a velocidade síncrona “ N_s ” chama-se escorregamento “ S ”, que pode ser expressa em rpm como a diferença entre as velocidades ou como a porcentagem destas e que é calculada pelas equações:

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} * 100(\%),$$

Onde:

N – Velocidade nominal do motor (rpm);

Ns – Velocidade síncrona (rpm);

S – Escorregamento (%).



Atividade 02

Vamos praticar um pouco?

Calcule o valor do escorregamento para um motor de 4 polos que apresenta uma velocidade nominal de 1710 (rpm).

O motor sem carga acoplada na ponta do eixo, o qual chamamos de motor em vazio, apresenta um escorregamento muito pequeno, uma vez que, no rotor, sua reatância e sua força eletromotriz induzida são muito pequenas, além de a corrente do rotor ser reduzida apenas o suficiente para produzir o torque necessário a vazio.

O fator de potência é extremamente baixo e em atraso, com $\cos\theta < 0,3$, pois a corrente que circulará pelo motor é utilizada apenas para a sua magnetização.

Quando uma carga mecânica é aplicada ao rotor, a velocidade decresce um pouco. Essa diminuição na velocidade causa um aumento no escorregamento, na frequência da corrente rotórica, na sua reatância e na sua força eletromotriz induzida.



Glossário

Corrente Rotórica – É a corrente que circula pelas espiras do rotor, oriunda da força eletromotriz induzida.

A frequência da corrente induzida no rotor é igual a frequência da corrente nas bobinas do estator vezes o valor do escorregamento. Ela pode ser calculada por:

$$f_2 = s * f_1$$

Onde:

f_1 – Frequência da corrente nas bobinas do estator (Hz);

f_2 – Frequência da corrente rotórica (Hz);

s – Escorregamento (decimal).

O aumento da corrente induzida no rotor reflete-se num aumento da corrente primária do estator (componente que produz potência). Assim, uma corrente maior será produzida no estator, com um melhor fator de potência, tendendo a produzir mais potência mecânica e a solicitar mais potência da linha. À plena carga, o motor de indução irá girar a um escorregamento que promove o equilíbrio entre o torque desenvolvido pelo motor e o torque resistente à carga.

Dessa forma, o fator de potência a plena carga varia de 0,8 (em pequenos motores 1 cv) a 0,95 para grandes motores, acima de 150 cv.

Em primeira análise pode parecer que aumentos além da plena carga produzirão melhorias no fator de potência e na corrente de fase do estator. Porém, com o aumento da carga e do escorregamento, a frequência da corrente rotórica

continua a aumentar e o aumento da reatância do rotor produz uma diminuição do seu fator de potência. Portanto, com cargas acima da nominal do motor, o fator de potência aproxima-se do máximo e, então, decresce rapidamente.



Atividade 03

Considerando o que estudamos até o momento, você conseguiria explicar:

- O significado físico do escorregamento em uma máquina assíncrona?
- O que é fator de potência?
- Por que o aumento da carga em um motor tende a aumentar o fator de potência?

Ficou com dúvida em alguma resposta?
Relaxa, acontece... Mas não deixe de consultar os fóruns da disciplina para esclarecer essas dúvidas, hein?

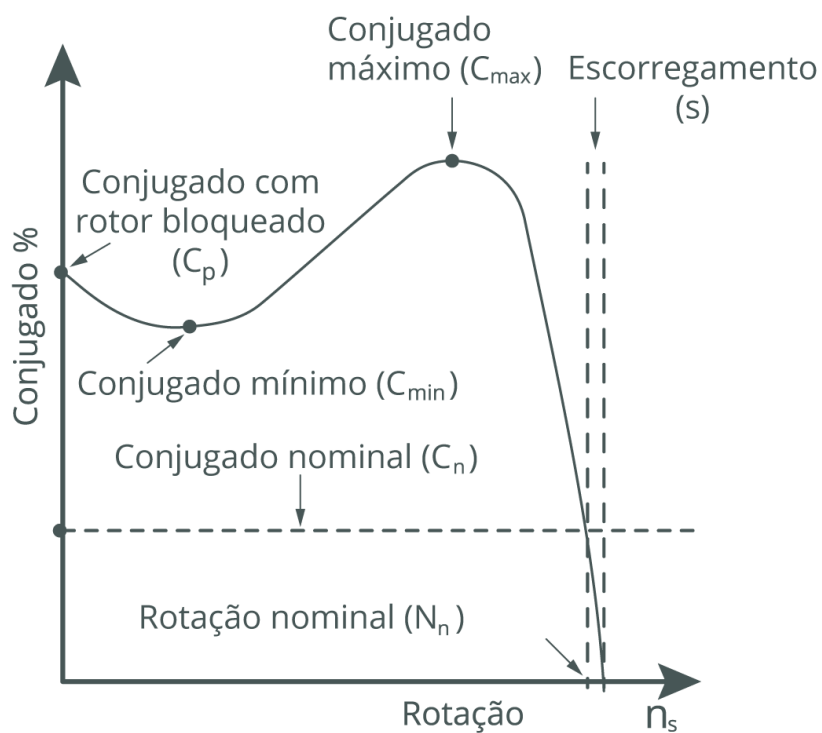


2.4 Conjugado, Torque ou Binário

Como explicado anteriormente, o motor de indução tem conjugado igual a zero quando atinge a velocidade síncrona. À medida que se aumenta a carga sobre seu eixo, a rotação do motor diminui gradativamente, até um ponto em que o torque atinge o valor máximo que o motor é capaz de desenvolver. Caso o torque da carga

aumente, a rotação do eixo cairá bruscamente, podendo chegar a travar o rotor. Para representar num gráfico a variação do conjugado em relação a sua velocidade, apresentamos a Figura 08.

Figura 08 - Curva de conjugado X velocidade



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

O torque de um motor de indução é calculado em função de sua potência e da velocidade síncrona, por meio da seguinte equação:

$$T_0 (Kgf.m) = \frac{716 * P (cv)}{N_s (rpm)}, ou \frac{794 * P (KW)}{N_s (rpm)}$$

$$T_0 (N.m) = \frac{7094 * P (cv)}{N_s (rpm)}, ou \frac{9555 * P (KW)}{N_s (rpm)}$$

Onde:

T_0 – Torque do motor (Kgf.m / N.m);

P – Potência do motor (cv, ou KW);

N_s – Velocidade síncrona (rpm).

Como podemos ver no gráfico da Figura 08, o primeiro torque, ou conjugado, a ser comentado é o nominal “ C_n ”.

- C_n - Conjugado nominal: É desenvolvido pelo motor à plena carga em tensão, correntes e frequências nominais. Esse conjugado pode ser entendido como sendo o torque necessário para mover a carga.
- C_{min} - Conjugado mínimo: Ocorre na região próxima de 30 % de sua velocidade nominal, sendo o menor torque desenvolvido pelo motor ao acelerar do zero até sua velocidade de torque máximo, que é em torno de 80% de sua velocidade nominal.
- C_p - Conjugado com rotor bloqueado, ou conjugado de partida ou de arranque: É o conjugado do motor para todas as posições angulares do rotor, quando este se encontra parado, sob condições nominais de tensão e frequência.
- $C_{máx}$ - Conjugado máximo: É 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:

C_n

Conjugado nominal: É desenvolvido pelo motor à plena carga em tensão, correntes e frequências nominais. Esse conjugado pode ser entendido como sendo o torque necessário para mover a carga.

C_{min}

Conjugado mínimo: Ocorre na região próxima de 30% de sua velocidade nominal, sendo o menor torque desenvolvido pelo motor ao acelerar do zero até sua velocidade de torque máximo, que é em torno de 80% de sua velocidade nominal.

C_p

Conjugado com rotor bloqueado, ou conjugado de partida ou de arranque: É o conjugado do motor para todas as posições angulares do rotor, quando este se encontra parado, sob condições nominais de tensão e frequência.

$C_{máx}$

Conjugado máximo: É 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:

Há dois pontos que devemos considerar:

1. O motor deve ser capaz de vencer, sem grandes dificuldades, eventuais picos de carga que podem ocorrer em certas aplicações, tais como em britadores, calandras, misturadores e outras.
2. O motor não deve arriar, isto é, perder bruscamente a velocidade, quando momentaneamente ocorrerem quedas de tensão excessivas.

2.4.1 Categoria de conjugado

Os motores de indução trifásicos com rotor tipo gaiola de esquilo são classificados em categorias de conjugado, em relação à velocidade e à corrente de partida. Essas categorias são associadas para cada tipo de carga e definidas em norma (NBR 7094) da seguinte maneira:

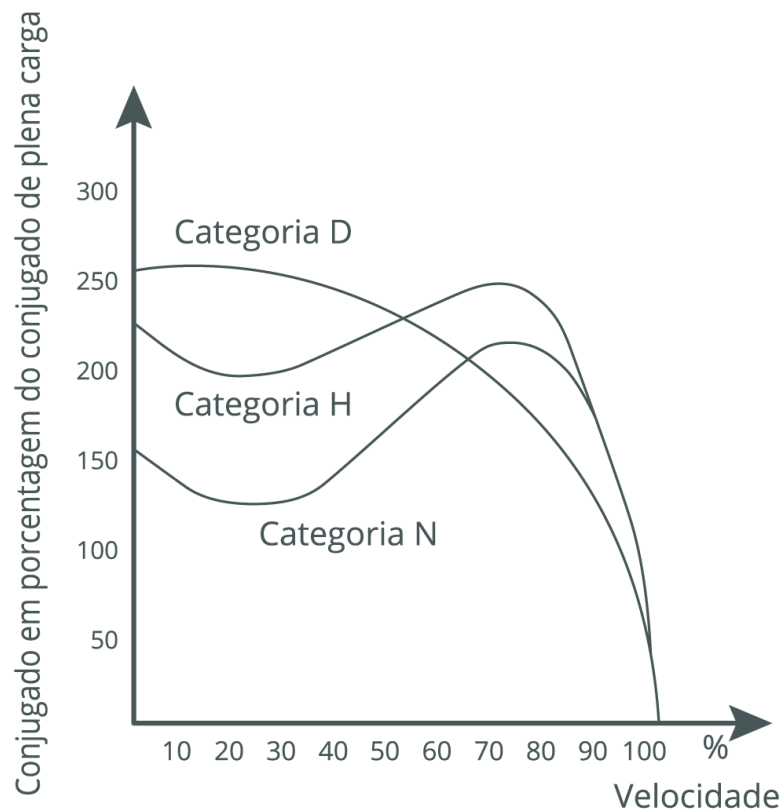
Categoria N: Conjugado de partida normal, corrente de partida normal; baixo escorregamento. Constitui a maioria dos motores encontrados no mercado e presta-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, ventiladores.

Categoria H: Conjugado de partida alto, corrente de partida normal; baixo escorregamento. Usada para cargas que exigem maior conjugado na partida, como peneiras, transportadores, carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

Categoria D: Conjugado de partida alta, corrente de partida normal; alto escorregamento (+ de 5%). Usada em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, nas quais a carga apresenta picos periódicos. Usada também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados de partida muito altos e de corrente de partida limitada.

As curvas dos conjugados para as categorias **N**, **H** e **D** estão plotadas no gráfico do Conjugado X Velocidade apresentado na Figura 09.

Figura 09 - Curvas do conjugado X Velocidades das categorias N, H e D



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

2.5 Corrente de partida em motores trifásicos

A corrente de partida, também chamada de corrente com o rotor bloqueado, está presente nos motores de indução e deve ter seu valor minimizado. Sempre que possível, um motor trifásico de gaiola deverá ser alimentado diretamente com a tensão da rede elétrica, por meio de contadores.

Porém, devemos ter em conta que, para motores com potências acima de 5,0 cv, essa corrente de partida poderá prejudicar ou até mesmo comprometer o sistema elétrico, vindo a ocorrer as seguintes consequências:

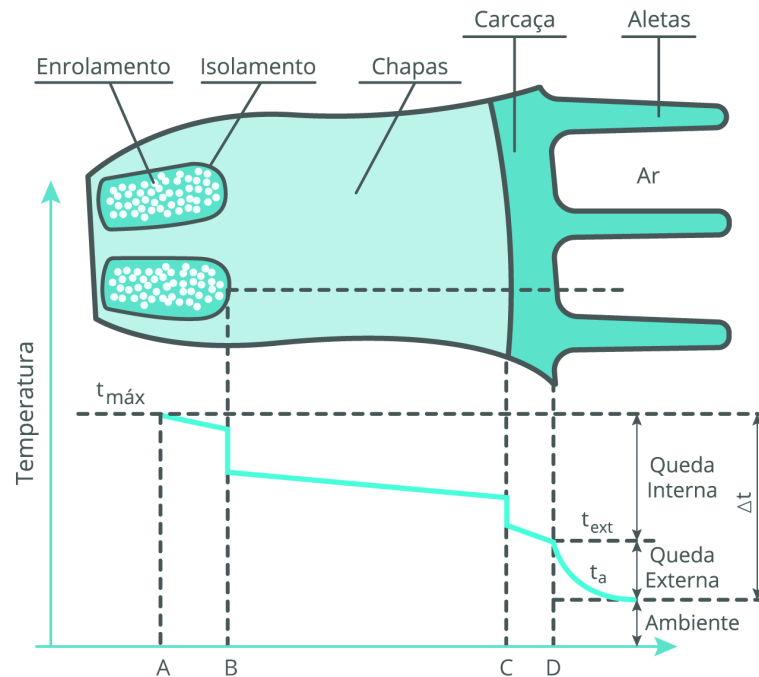
- a. elevada queda de tensão no sistema de alimentação da rede. Em função disso, é provocada a interferência em equipamentos instalados no sistema;
- b. o sistema de proteção (cabos, contadores) deverá ser superdimensionado, ocasionando um custo elevado;
- c. a imposição das concessionárias de energia elétrica que limitam a queda de tensão da rede ou limitam a potência do motor para alimentá-lo diretamente com a tensão da rede.

Nos casos em que a partida direta não seja possível de acontecer, devido aos problemas citados acima, pode-se utilizar sistema de partida indireta que apresente características de reduzir a corrente no instante da partida. São utilizadas as chaves de partida: Estrela-triângulo, Chave compensadora e Chave série-paralelo; além das partidas eletrônicas: soft-starter e inversor de frequência. Essas chaves serão estudadas mais à frente em uma aula específica.

2.6 Classe de isolamento

A temperatura nas máquinas elétricas é um fator crucial para seu bom funcionamento. O que realmente queremos limitar é a elevação da temperatura no enrolamento sobre a temperatura do ar ambiente. Essa diferença total (Δt) é comumente chamada “elevação de temperatura” do motor e, como é indicado na Figura 10, equivale à soma da queda interna da temperatura com a queda externa.

Figura 10 - Detalhe da distribuição da temperatura em motor trifásico



Legenda

- $t_{máx}$ Temperatura no ponto mais quente do motor (centro das bobinas);
- t_{ext} Temperatura externa (saída da carcaça do motor);
- t_a Temperatura ambiente, medida no centro das aletas em contato com o ar.

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Onde:

$t_{máx}$ – Temperatura no ponto mais quente do motor (centro das bobinas);

t_{ext} - Temperatura externa (saída da carcaça do motor);

t_a – Temperatura ambiente, medida no centro das aletas em contato com o ar.

O limite de temperatura do motor depende do tipo de material empregado na confecção de suas bobinas. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que sua vida útil seja afetada.

As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os seus respectivos limites de temperatura, conforme a NBR-7094, são os seguintes:

- Classe A (105 °C)
- Classe E (120 °C)
- Classe B (130 °C)
- Classe F (155 °C)
- Classe H (180 °C)

As classes B e F são comumente utilizadas em motores normais, que são os motores mais fabricados e comercializados no mercado.

As normas para motores, portanto, estabelecem um limite máximo de temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento. Desse modo, fica indiretamente limitada a temperatura do ponto mais quente do motor. Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição da temperatura em função da classe

Classe de isolamento		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente	°C	40	40	40	40	40
Δt = elevação de temperatura (método da resistência)	°C	60	75	80	105	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	10	15
Total: temperatura do ponto mais quente	°C	105	120	130	155	180

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

2.7 Proteção térmica dos motores

Os motores utilizados em regime contínuo devem ser protegidos contra sobrecargas por um dispositivo integrante do motor ou por um dispositivo de proteção independente.

O relé térmico, que pode ter sua corrente ajustada em função do fator de serviço do motor, é um exemplo de dispositivo independente. O ajuste da corrente será melhor explicado em aula posterior acerca do acionamento de máquinas.

A proteção térmica nos motores com os dispositivos integrantes é efetuada por meio de termorresistências (resistência calibrada), termistores, termostatos ou protetores térmicos. Os tipos de detectores a serem utilizados são determinados em função da classe de temperatura do isolamento empregado, de cada tipo de máquina e da exigência do cliente.

2.7.1 Termorresistores (PT -100)

Os termorresistores (PT-100) são elementos em que a operação é baseada na variação da resistência com a temperatura. Possuem resistência calibrada, que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta.

A aplicação do termorresistor, visto na Figura 11, é ampla nos diversos setores de técnicas de medição e automatização de temperatura nas indústrias em geral. A desvantagem é que o seu circuito de controle e os seus elementos sensores têm um custo mais elevado do que o dos demais detectores térmicos.

Figura 11 - Termorresistor, visualização do aspecto externo



Fonte: Adaptado de Ebay. Disponível em: https://www.ebay.com/itm/195-210-Degree-Electric-Engine-Cooling-Fan-Thermostat-Temp-Switch-3-8-039-039-NPT-US-/201550460278?_ul=DO.

Acesso em: 19 set. 2017.

2.7.2 Termistores (NTC e PTC)

Os termistores ([NTC](#) (do inglês, Negative Temperature Coefficient) e [PTC](#) (do inglês, Positive Temperature Coefficient)) são detectores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura. Nos termistores, PTC equivale ao coeficiente de temperatura positivo e NTC equivale ao coeficiente de temperatura negativo. Na Figura 12 vemos um exemplo desse detector térmico.

Figura 12 - Termistor, visualização do aspecto interno



Fonte: Adaptado de HandsOn Tech. Disponível em: <http://handsontec.com/wp-content/uploads/2016/04/B72210s-1-300.jpg>. Acesso em: 19 set. 2017.

O princípio de funcionamento do “PTC” é baseado no aumento brusco da resistência para um valor bem definido de temperatura. Esse valor de temperatura é característico de cada tipo de semiconductor. Essa variação brusca na resistência, quando submetida a um aumento da temperatura, possibilita interromper a corrente no PTC, acionando um relé de saída que poderá desligar o circuito principal de acionamento do motor e que pode ser utilizado para sistemas de alarme.

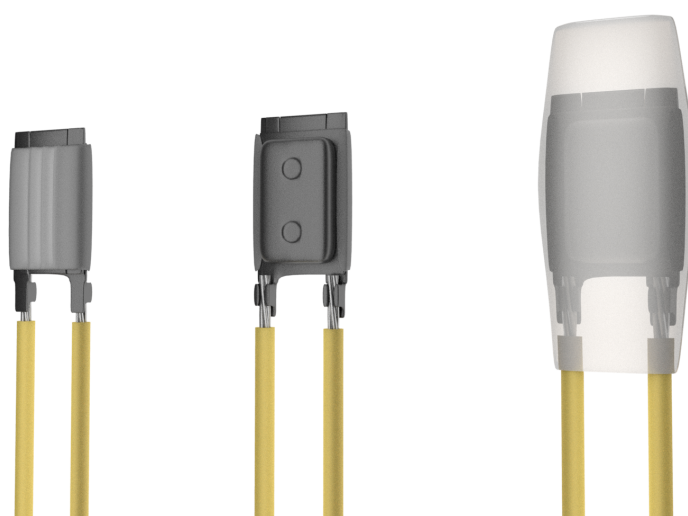
O termistor NTC apresenta a característica de operação contrária à do PTC, ou seja, sua resistência diminui ao aumentar a temperatura. Desse modo, sua aplicação não é comum em motores elétricos, pois os circuitos eletrônicos de controle disponíveis geralmente são para o PTC.

Os termistores possuem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e têm uma resposta mais rápida em relação aos outros detectores, embora não permitam um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor. Os termistores, com seus respectivos circuitos eletrônicos de controle, oferecem proteção completa contra sobreaquecimento produzido por falta de fase, sobrecarga, sub ou sobretensões e frequentes operações de reversão ou liga-desliga. Possuem um baixo custo, se comparados aos do tipo Pt-100, porém, necessitam de relé para comando da atuação do alarme ou operação.

2.7.3 Termostatos

São detectores térmicos do tipo bimetálico, cujo exemplo é visto na Figura 13. Possuem contatos de prata normalmente fechados que se abrem quando ocorre determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetálico baixa, este volta a sua forma original instantaneamente, permitindo o fechamento dos contatos novamente.

Figura 13 - Termostato, visualização do aspecto externo



Quando solicitado pelo cliente, os termostatos podem ser destinados para sistemas de alarme, de desligamento ou de ambos (alarme e desligamento) de motores elétricos trifásicos.

Esses detectores térmicos são ligados em série com a bobina do contator. Dependendo do grau de segurança e da especificação do cliente, podem ser utilizados três termostatos (um por fase) ou seis termostatos (grupos de dois por fase).

Para operar em alarme e desligamento (dois termostatos por fase), os termostatos de alarme devem ser apropriados para atuação na elevação de temperatura prevista do motor, enquanto que os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura máxima do material isolante.

2.8 Regime de serviço

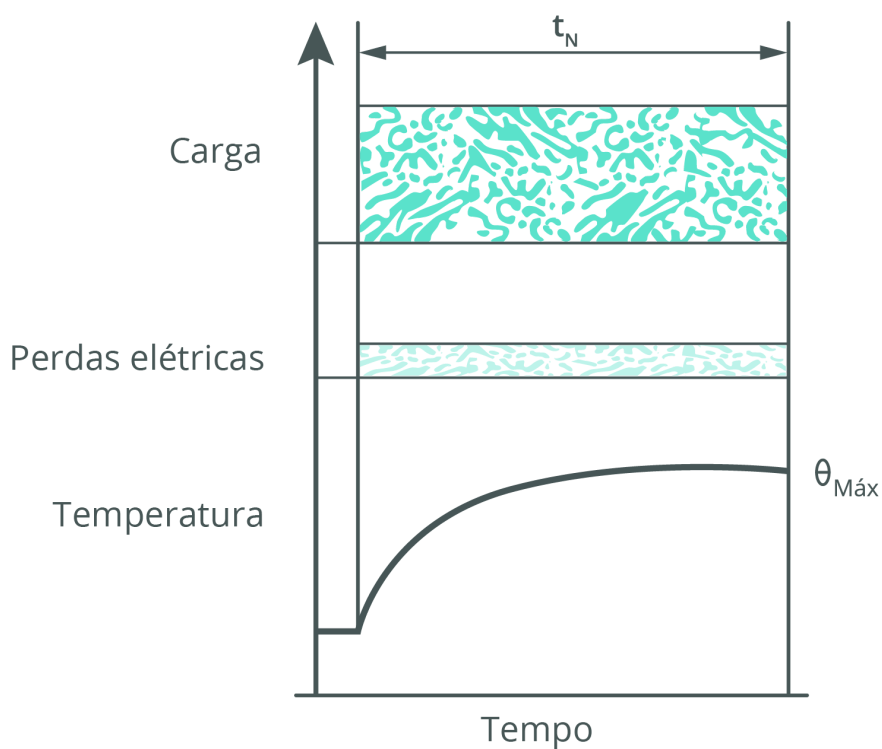
É o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo (a carga é constante) por tempo indefinido e igual à potência nominal do motor. A indicação do regime do motor deve ser feita pelo comprador, da forma mais exata possível.

Nos casos em que a carga não varia ou varia de forma previsível, o regime poderá ser indicado numericamente ou por meio de gráficos que representem a variação em função do tempo das grandezas variáveis. Existem 10 tipos de regimes de serviços previstos e apenas um regime especial.

Nesta aula, explicaremos apenas dois regimes, o S1 e S2. Caso tenha curiosidade, você pode pesquisar um catálogo de motores para ver os demais tipos.

O regime S1 implica em um funcionamento quando o motor encontra-se submetido a uma carga constante. Esse funcionamento deverá ocorrer num tempo suficiente para que seja alcançado o equilíbrio térmico do motor, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico do comportamento da temperatura à carga constante



Legenda

t_N Funcionamento à carga constante após ser alcançado o equilíbrio térmico;

$\theta_{M\acute{a}x}$ Temperatura máxima atingida.

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Onde:

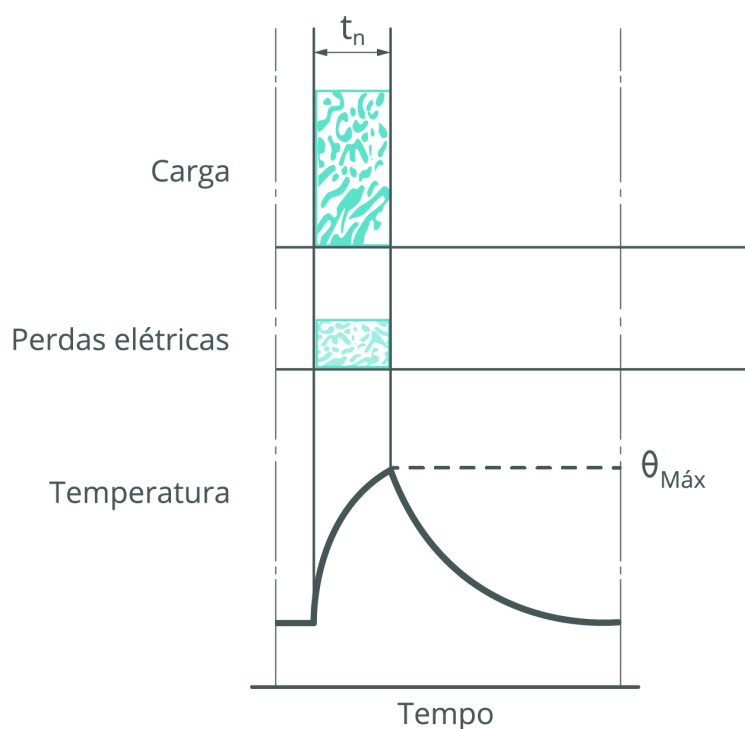
t_n – Funcionamento à carga constante após ser alcançado o equilíbrio térmico;

$\theta_{m\acute{a}x}$. – Temperatura máxima atingida.

Na prática, poderemos ter uma aplicação desse tipo de regime em um motor que acione uma bomba centrífuga encontrada aduzindo água de um manancial para um reservatório elevado, operando sem parar.

O segundo regime a ser comentado é o S2, cujo funcionamento se dá à carga constante, durante certo tempo, inferior ao necessário para que seja atingido o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante, como pode ser observado no gráfico da Figura 15.

Figura 15 - Gráfico do comportamento da temperatura à carga constante, mas de pouca duração



Legenda

t_n Tempo de duração do funcionamento menor do que o do equilíbrio térmico;

$\theta_{Máx}$ Temperatura máxima atingida.

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Onde:

t_n - Tempo de duração do funcionamento menor do que o do equilíbrio térmico;

$\theta_{máx}$. – Temperatura máxima atingida.

2.9 Fator de serviço

Chama-se fator de serviço (FS) de um motor o valor que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob condições especificadas.

Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar melhor o funcionamento em condições desfavoráveis. O fator de serviço não deve ser confundido com a capacidade de sobrecarga momentânea que o motor tem somente durante alguns minutos.

O fator de serviço ($FS = 1,0$) significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal. Isso, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas. Podemos encontrar motores com fator de serviço de 1,1 a 1,25. Contudo, valores de FS de 1,25 só são encontrados em motores de pequenas potências.

2.10 Altitude

Os motores são projetados para funcionarem numa altitude de até 1.000 m acima do nível do mar. Fora dessa faixa, eles apresentam problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, ocorre a diminuição do seu poder de arrefecimento.

A insuficiente troca de calor entre o motor e o ar circundante leva a um aumento das perdas, o que acarreta, também, em redução de potência. Os motores têm aquecimento diretamente proporcional às perdas e estas variam, aproximadamente, numa razão quadrática com a potência. Existem ainda três soluções possíveis para aplicação de motores em altitudes acima de 1.000 m:

- a. os motores para instalações em altitudes acima de 1.000 m devem ser construídos usando-se material isolante de classe superior.
- b. os motores com fator de serviço maior que 1,0 trabalharão satisfatoriamente em altitudes acima de 1.000 m, cuja temperatura

ambiente corresponda a 40 °C, desde que somente a potência nominal do motor seja requerida pela carga.

- c. segundo a norma NBR-7094, a redução necessária na temperatura ambiente deve ser de 1% dos limites de elevação de temperatura para cada 100m de altitude acima de 1.000 m.

2.10.1 Temperatura

Os motores foram fabricados para trabalharem na temperatura ambiente de 40 °C. O enrolamento dos motores que trabalham constantemente a temperaturas ambientes superiores a 40 °C pode atingir temperaturas prejudiciais à isolação. Esse fato tem de ser compensado por um projeto especial do motor, usando materiais isolantes especiais, ou por meio da redução da potência nominal do motor.

Um outro extremo de temperatura prejudicial aos motores é o de -20 °C. Abaixo desse valor os motores poderão apresentar os seguintes problemas:

- a. excessiva condensação, exigindo drenagem adicional ou instalação de resistência de aquecimento, casos em que o motor fica longos períodos parado.
- b. formação de gelo nos mancais, provocando endurecimento das graxas ou lubrificantes nos mancais, exigindo o emprego de lubrificantes especiais ou de graxa anticongelante.

2.10.2 Potência dos motores variando a temperatura e a altitude

Como visto, a altitude e a temperatura influenciam diretamente a capacidade de desempenho dos motores. Para compensar esses efeitos, alguns fabricantes disponibilizam fatores que corrigem essas distorções. A associação dos efeitos da variação da temperatura e da altitude para a capacidade de dissipação da potência do motor pode ser obtida multiplicando-se sua potência pelo fator de multiplicação obtido na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de correção para temperatura (T) e a altitude (H)

TH	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
10	1,16	1,13	1,11	1,08	1,04	1,01	0,97
15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,02	0,98	0,94
20	1,11	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,91
25	1,08	1,06	1,03	1,0	0,95	0,93	0,89
30	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,86
35	1,03	1,0	0,95	0,93	0,90	0,88	0,84
40	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,78
45	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,82	0,80
50	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
55	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73
60	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Exemplo:

Um motor com a potência de 100 cv, classe de isolamento B, será utilizado em um ambiente, cuja temperatura é de 55 °C, e em uma altitude de 2.000 m acima do nível do mar. Qual será a potência útil disponível na ponta do eixo desse motor?

$$P_d = P * F_c$$

$$P_d = 100 * 0,83$$

$$P_d = 83cv$$

2.11 Ambientes perigosos

Uma instalação em que produtos inflamáveis são continuamente manuseados, processados ou armazenados necessita, obviamente, de cuidados especiais que garantam a manutenção do patrimônio e preservem a vida humana nas denominadas ÁREAS DE RISCO.

Os equipamentos elétricos podem representar fontes de ignição, quer seja pelo centelhamento normal, devido à abertura e ao fechamento de contatos, quer seja pelo superaquecimento de algum componente, intencional ou causado por correntes de defeito.

Segundo as normas ABNT/IEC, as áreas de risco são classificadas em três zonas: a 0, a 1 e a 2.

▼ **Zona 0:**

Região onde a ocorrência de mistura inflamável e/ou explosiva é contínua ou existe por longos períodos. Por exemplo, a região interna de um tanque de combustível. Na zona 0, a atmosfera explosiva está sempre presente.

▼ **Zona 1:**

Região onde a probabilidade de ocorrência de mistura inflamável e/ou explosiva está associada à operação normal do equipamento e do processo. Na zona 1, a atmosfera explosiva está frequentemente presente.

▼ **Zona 2:**

Local onde a presença de mistura inflamável e/ou explosiva não é provável de ocorrer, porém, caso ocorra, será durante poucos períodos. Está associada à operação anormal do equipamento e do processo, além de envolver perdas ou uso negligente. Na zona 2, a atmosfera explosiva pode acidentalmente estar presente.

Em alguns casos, temos a atmosfera explosiva quando a grande proporção de gás, vapor, pó ou fibras favorece uma faísca proveniente de um circuito elétrico ou uma explosão causada pelo aquecimento de um aparelho. Para que se inicie uma explosão, três elementos são necessários: o combustível, o oxigênio e a faísca.

2.11.4 Equipamentos usados em áreas de risco

Os equipamentos utilizados em áreas de riscos são divididos em quatro tipos, segunda a Norma ABNT ou IEC, podendo ser: À PROVA DE EXPLOÇÃO; SEGURANÇA AUMENTADA; NÃO ACENDÍVEL; E INVÓLUCRO HERMÉTICO. A Tabela 3 a seguir apresenta cada tipo e suas respectivas características comuns.

Tabela 1 - Classificação dos equipamentos utilizados em áreas de risco

Tipo de proteção	Simbologia IEC/ABNT	Definição	Área de aplicação	Normal ABNT ou IEC
A prova de explosão	Ex(d)	Capaz de suportar explosão interna sem permitir que se propague para o meio externo	zonas 1 e 2	IEC-79.1 NBR-5363
Segurança aumentada	Ex(e)	Medidas construtivas adicionais aplicadas a equipamentos que em condições normais de operação não produzem arco, centelha ou alta temperatura	zonas 1 e 2	IEC-79.7 NBR-9883
Não acendível	Ex(n)	Dispositivos ou circuitos que apenas em condições normais de operação, não possuem energia suficiente para inflamar a atmosfera explosiva	zona 2	IEC-79.15
Invólucro hemético	Ex(h)	Invólucro com fechamento hermético (por fusão de material)	zona 2	PROJ. IEC-31 (N)36

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Os ensaios e a certificação desses equipamentos são desenvolvidos pelo LABEX - Laboratório de Ensaio e Certificação de Equipamentos Elétricos com Proteção contra Explosão - inaugurado em 16/12/1986 e pertencente ao conglomerado laboratorial do Centro de Pesquisas Elétricas CEPEL da Eletrobrás.

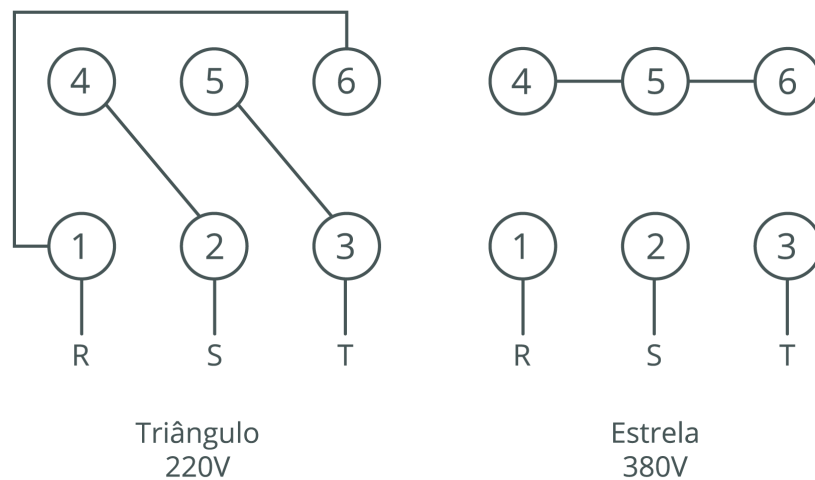
3. Identificação das bobinas

Comercialmente, os motores trifásicos são fabricados e vendidos com até 6 bobinas. Como em cada bobina saem dois fios, temos 12 terminais de ligação que são identificados com números correspondentes às fases. Essa numeração obedece ao seguinte padrão:

- (1;4) (7;10): bobinas da fase R,
- (2;5) (8;11): bobinas da fase S,
- (3;6) (9;12): bobinas da fase T.

A escolha de determinado esquema de ligação para um motor, por exemplo, estrela ou triângulo, se faz necessário verificar se a tensão da rede a que o motor será ligado é compatível com o valor constando na placa de identificação desse motor. Normalmente, um motor é fabricado para ser ligado a mais de um nível de tensão, sendo necessário apenas verificar o tipo de ligação indicada na sua plaqueta. A seguir, na Figura 16, temos dois exemplos dessas possíveis ligações para um motor: um exemplo relativo às formas de ligarmos os motores em delta e outro relativo à ligação em estrela:

Figura 16 - Esquemas de ligações dos motores trifásicos



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Nesse exemplo, observamos uma ligação a ser executada em delta para uma tensão da rede de 220 V. Na outra ligação, em estrela, a tensão a que devemos ligar as bobinas do motor será de 380 V.



Atividade 04

Pesquise as diversas formas de ligação das bobinas dos motores. Você pode compartilhar nos fóruns da disciplina as suas descobertas!

4. Características elétricas dos motores tipo gaiola

As características dos motores são apresentadas no catálogo do fabricante indicado nas “Leituras Complementares”. Algumas delas já foram comentadas anteriormente, como: conjugado, potência, velocidade nominal, fator de serviço e rendimento. Agora faremos alusão às demais características que fazem parte desse catálogo, das quais é importante você ter conhecimento. O catálogo com os dados elétricos poderá ser visualizado na Figura 17.

Figura 17 - Catálogo com as especificações elétricas dos motores

Motor Trifásico Alto Rendimento Plus

2 Pólos - 60Hz



Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado Ip / In	Conjugado nominal Cn (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado Cp / Cn	Conjugado máximo Cmax/ Cn	Rendimento η %			Fator de potência Cos φ			Fator de serviço F S	Momento de inércia J (kgm²)	Tempo com rotor bloqueado (s) a quente	Nível médio de pressão dB (A)	Peso aprox (kg)
cv	kW								% da potência nominal										
									50	75	100	50	75	100					
1,0	0,75	71	3440	3,03	7,40	0,21	3,0	3,0	74,2	78,4	81,2	0,56	0,70	0,80	1,15	0,00053	7	60	10
1,5	1,1	80	3400	3,99	7,50	0,32	3,0	3,3	80,0	82,0	83,1	0,72	0,82	0,87	1,15	0,00079	11	62	13
2,0	1,5	80	3400	5,42	7,70	0,42	3,3	3,3	82,0	83,0	84,5	0,70	0,80	0,86	1,15	0,00096	8	62	15
3,0	2,2	90S	3440	7,98	7,80	0,62	2,7	3,0	82,5	85,5	85,1	0,72	0,81	0,85	1,15	0,00206	6	68	20
4,0	3	90L	3460	10,8	7,60	0,83	3,0	3,2	84,0	86,5	86,5	0,71	0,80	0,84	1,15	0,00267	5	68	23
5,0	3,7	100L	3500	13,1	9,00	1,02	3,0	3,2	84,0	86,0	87,5	0,72	0,80	0,85	1,15	0,00673	9	71	34

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Inicialmente, precisamos destacar o aspecto referente à separação dos motores pelo número de polos. Na parte superior do catálogo veremos a indicação do número de polos e da frequência da rede que o alimentará.

A primeira coluna apresenta os valores das potências em cv e em KW. A seguir temos uma coluna com a numeração da carcaça do motor. Essa numeração associa os dados mecânicos - altura, largura, comprimento, distâncias entre os furos da sapata, entre outros - com as potências dos motores.

A próxima coluna elencada é a da velocidade do eixo do motor, dada em (RPM). A quarta coluna, por sua vez, relaciona os valores das correntes nominais que foram medidas com a máquina alimentada na tensão de fase de 220 V trifásica.

Assim, quando é necessário saber o valor da corrente nominal do motor alimentado na tensão de 380 V, é preciso fazer um ajuste no valor, multiplicando-o por uma constante 0,577. Dessa forma, podemos obter o valor da corrente nominal do motor quando ele estiver alimentado com a tensão de 380 V.

A quinta coluna apresenta os valores da corrente com rotor bloqueado (Ip/In). Esses valores evidenciam a quantidade de vezes que o valor da corrente nominal será aumentado na partida do motor, quando sua velocidade sair de zero e atingir a velocidade nominal. Dessa forma, quando o motor for alimentado, seu eixo iniciará o movimento e, até que ele alcance a velocidade nominal, a corrente alcançará o valor de 68,0 (A).

Agora, avançaremos nossa explanação tratando das colunas com os dados do rendimento, representado pela letra (η) e pelo fator de potência ($\cos\theta$). Observando a primeira coluna, a do rendimento, podemos notar que ela se subdivide em outras três colunas com valores definidos de 50, 75 e 100, os quais são percentuais da potência nominal a que o motor esteja submetido.

Sendo assim, para o motor de 5 cv teremos um rendimento de 84% quando ele estiver submetido a uma carga que exija 50 % de sua potência nominal, outro rendimento de 86 para 75% de sua potência e, finalmente, um rendimento de 87,5% para 100% de sua potência. O mesmo raciocínio aplicado ao rendimento deverá ser usado para o fator de potência.

Finalmente, comentaremos a coluna que trata do tempo, em segundos, por meio do qual o rotor do motor poderá ficar bloqueado. Essa coluna apresenta os valores do tempo, quando o motor já estiver aquecido e o seu eixo ficar travado sem girar, em virtude de alguma falha mecânica ou até mesmo de um grande aumento da carga girada pelo motor. Ele poderá suportar o tempo prescrito ali sem que ocorra nenhum dano aos seus enrolamentos.



Atividade 04

Calcule o valor da corrente nominal de um motor de 5 cv, apresentado na Figura 17, para quando ele estiver alimentado na tensão de 380 V. Considere que o motor de 5 cv apresenta o valor de $(I_p/I_n) = 9$. Sabendo disso, responda: **Qual será o valor da corrente na partida desse motor?**

[Clique aqui](#) para verificar suas respostas.

Resposta

A solução envolve o cálculo da corrente nominal do motor alimentado na tensão de 380 V, que será de:

$$I_n = 13,1 * 0,577 = 7,55A$$

Logo, teremos:

$$I_p = I_n * 9$$

$$I_p = 7,55 * 9$$

$$I_p = 68,0(A)$$

5. Motores de duas velocidades (DAHLANDER)

Os motores que são projetados para trabalharem em duas velocidades distintas são chamados de motores DAHLANDER. As velocidades, que estão relacionadas ao número de rotações no motor, são conseguidas com a estruturação dos enrolamentos do estator dele em dois conjuntos, promovendo uma relação de 1:2. Ou seja, em uma forma de ligação o número de polos é duas vezes maior que a outra. Apesar de já se ter um grande avanço tecnológico em razão do uso de

variadores de velocidade para motores assíncronos, o uso do motor Dahlander ainda é viável economicamente para as aplicações nas quais se deseja apenas uma mudança discreta das velocidades.

Observe, na Figura 18, o catálogo que contém as especificações elétricas do motor. Perceba que algumas mudanças ocorreram em relação ao catálogo mostrado na Figura 17.

Figura 18 - Motor de duas velocidades

Motor Trifásico Dahlander IP55 (duas velocidades)

1800 / 3600 RPM - 60 Hz



Potência		Carcaça ABNT	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado Ip / In	Conjugado nominal Cn (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado Cp / Cn	Conjugado máximo Cmax / Cn	Rendimento η %			Fator de potência Cos φ			Fator de serviço FS	Momento de inércia J (kgm²)	Tempo com rotor bloqueado (S) a quente	Peso aprox. (kg)
CV	kW								% da potência nominal									
									50	75	100	50	75	100				
0,25	0,18	71	1730	1,7	3,5	0,10	2,8	3,2	38	47	53	0,40	0,47	0,54	1,0	0,0005	9,7	8,0
0,4	0,30		3460	1,6	5,5	0,08	2,5	3,0	49	57	62	0,66	0,75	0,82			6,0	
0,3	0,22	71	1740	2,3	4,0	0,12	3,3	3,8	40	49	55	0,38	0,45	0,52	1,0	0,0006	8,6	10
0,5	0,37		3480	1,9	6,5	0,10	3,0	3,6	51	59	64	0,65	0,74	0,80			6,0	
0,4	0,30	71	1710	2,6	4,0	0,17	2,6	2,9	45	54	59	0,39	0,47	0,55	1,0	0,0006	8,0	10,5
0,63	0,46		3440	2,4	6,0	0,13	2,4	2,9	56	63	66	0,69	0,78	0,84			6,0	
0,5	0,37	80	1755	2,6	5,2	0,20	2,6	3,5	46	55	60	0,45	0,54	0,61	1,0	0,0015	7,4	15,5
0,8	0,60		3495	3,2	6,2	0,17	2,6	3,3	48	56	61	0,62	0,72	0,78			6,0	
0,63	0,46	80	1750	3,0	5,5	0,26	2,8	3,4	51	60	65	0,45	0,55	0,63	1,0	0,0015	7,8	16
1,0	0,75		3485	3,8	6,4	0,20	2,8	3,4	53	61	65	0,61	0,70	0,77			6,0	

Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Esse motor se comporta como se ele fosse dois motores em apenas uma carcaça, pois, ao iniciarmos a análise na coluna das potências, percebemos que existe um valor de potência para cada velocidade. Tomemos como exemplo o motor de 0,63 cv e 1 cv. Ao longo das colunas, temos sempre um valor para a velocidade menor e outro valor para a velocidade maior. Assim, temos uma corrente de 3 (A) para o motor ligado na velocidade de 1750 rpm e de 3,8 (A) para o mesmo motor ligado na velocidade de 3485 rpm.

6. Seleção e aplicação dos motores trifásicos

Na aplicação de motores normalmente são comparadas as exigências da carga e as características do motor. Existem muitas aplicações que podem ser corretamente acionadas por mais de um tipo de motor, e a seleção de um determinado tipo nem sempre exclui o uso dos demais.

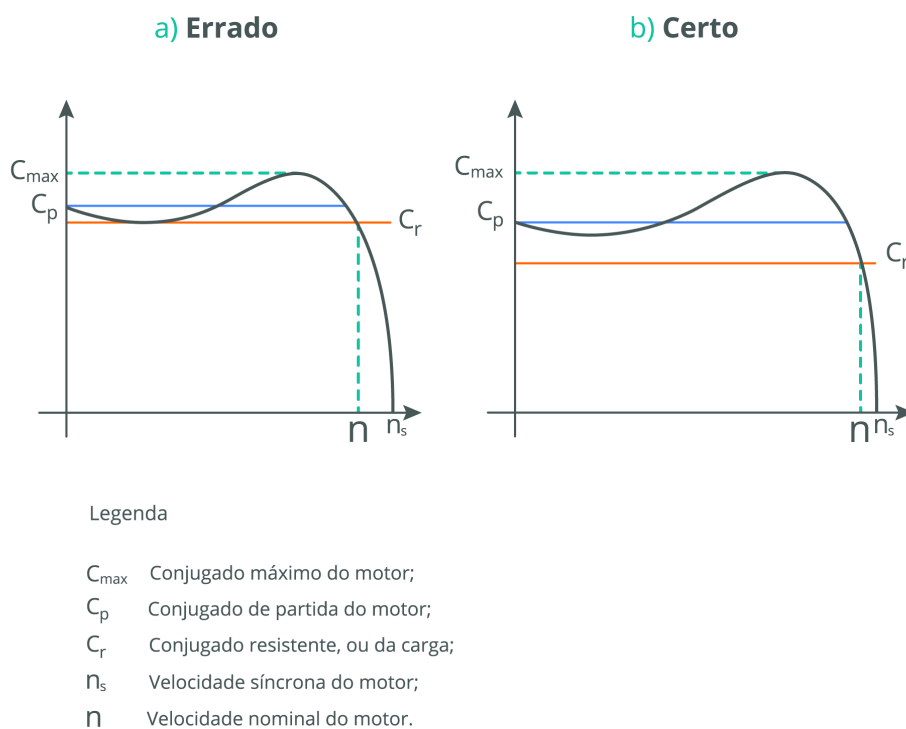
No que diz respeito ao conjugado, fator de potência, rendimento, elevação de temperatura, isolamento, tensão e grau de proteção mecânica, a seleção do tipo adequado de motor pode ser feita somente após uma análise cuidadosa, considerando determinados parâmetros, como: custo inicial, capacidade da rede, necessidade da correção do fator de potência, conjugados requeridos, efeito da inércia da carga, necessidade de regulação de velocidade, exposição da máquina em ambientes úmidos, poluídos e/ou agressivos.

Os motores de alto rendimento, equivalentes a série Plus, são padronizados conforme as normas IEC, mantendo a relação potência/carcaça. Desse modo, eles são intercambiáveis com todos os motores normalizados existentes no mercado. A fim de selecionar corretamente os motores, é importante considerar as características técnicas de aplicação e as características de carga, no que se refere a aspectos mecânicos mediante os quais devemos calcular:

a) Conjugado de partida: conjugado requerido para vencer a inércia estática da máquina e produzir movimento. Para que uma carga, partindo da velocidade zero, atinja a sua velocidade nominal, é necessário que o conjugado do motor seja sempre superior ao conjugado da carga. Isso pode ser observado no gráfico da Figura 19.

b) Conjugado de aceleração: conjugado necessário para acelerar a carga à velocidade nominal. O conjugado do motor deve ser sempre maior do que o conjugado de carga, em todos os pontos entre sua velocidade zero e sua rotação nominal. No ponto de interseção das duas curvas, o conjugado de aceleração é nulo, ou seja, é atingido o ponto de equilíbrio a partir do qual a velocidade permanece constante. Esse ponto de interseção entre as duas curvas deve corresponder à velocidade nominal.

Figura 19 - Gráfico com as curvas do conjugado



Fonte: Adaptado de WEG S. A. (2016).

Onde:

C_{max} - Conjugado máximo do motor;

C_p - Conjugado de partida do motor;

C_r - Conjugado resistente, ou da carga;

n_s - Velocidade síncrona do motor;

n - Velocidade nominal do motor.

Para a correta especificação do motor, são necessárias as seguintes informações:

▼ **Características da rede de alimentação**

- a) Tensão de alimentação do motor e, se necessário, dos aquecedores internos;
- b) Frequência nominal em Hz;
- c) Método de partida (quando essa informação não for fornecida, a partida será considerada direta).

▼ **Características do ambiente**

- a) Altitude;
- b) Temperatura ambiente;
- c) Atmosfera ambiente

▼ **Características construtivas**

- a) Forma construtiva;
- b) Potência em kW, velocidade em rpm;
- c) Fator de serviço;
- d) Potência térmica;
- e) Sentido de rotação (horário ou anti-horário, observando-o pelo lado do acionamento).

▼ **Características da carga**

- a) Momento de inércia da máquina acionada, ao qual a rotação está se referindo;
- b) Curva de conjugado resistente;
- c) Dados de transmissão;
- d) Cargas axiais e seu sentido, quando existentes;
- e) Cargas radiais e seu sentido, quando existentes;
- f) Regime de funcionamento da carga (nº de partidas/hora).

Em resumo, a correta seleção do motor implica que ele satisfaça às exigências requeridas pela aplicação específica. Sobre esse aspecto, o motor deve, basicamente, ser capaz de:

- Acelerar a carga em tempo suficientemente curto para que o aquecimento não venha a danificar as características físicas dos materiais isolantes;
- Funcionar no regime especificado sem que a temperatura de suas diversas partes ultrapasse a classe do isolante, ou sem que o ambiente possa vir a provocar a destruição do motor;
- Sob o ponto de vista econômico, funcionar com valores de rendimento e com fator de potência dentro da faixa ótima para a qual foi projetado.



Que tal testarmos agora um pouco os nossos conhecimentos? Caneta e papel na mão, e vamos a mais alguns cálculos!



Atividade 05

1. Qual deverá ser a potência total, disponível em kW, de um motor que tenha um fator de serviço de 1.15 e a potência nominal de 100 cv?
2. Qual a corrente nominal do motor tratado na questão anterior?
3. Sabendo-se que o valor da corrente de rotor bloqueado é de 7,5 para o motor em questão, identifique qual o valor da corrente de partida desse motor caso ele seja acionado com o nível de tensão diretamente da rede elétrica.
4. Utilizando um catálogo de motores da WEG, informe qual será o rendimento do motor em questão quando ele estiver submetido a um carregamento de apenas 75% de sua potência nominal.
5. Qual o valor do escorregamento, sabendo que o motor tem uma velocidade nominal de 3640 (rmp)?

Aprendemos bastante na aula de hoje sobre a seleção e a aplicação de motores trifásicos de indução, não é mesmo? Fique à vontade para usar o fórum e expor suas dúvidas, estamos sempre à disposição para esclarecê-las! Até a próxima aula!



Resumo

Nesta aula, demos continuidade ao estudo dos atuadores, conhecendo os motores ligados à rede de corrente alternada trifásica, também chamados de Máquinas de Indução Trifásica (MIT). Vimos os modelos existentes no mercado, o seu princípio de funcionamento, alguns conceitos básicos necessários ao selecioná-lo, o dimensionamento e as aplicações desses motores, assim como o equacionamento matemático dessas máquinas.

Leitura complementar

- UMANS, Stephen D.; KINGSLEY JÚNIOR, Charles; FITZGERALD, A. E. **Máquinas elétricas com introdução:** a eletrônica de potência. 6. ed. Porto Alegre: Mcgraw-hill, 2006.
- WEG S. A. **Guia de aplicação de inversores de frequência.** 3. ed. Jaraguá do Sul: [s. n.], 2005. Disponível em: <http://sidrasul.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Guia>.
- WEG S. A. **Motores elétricos:** guia de especificação. Jaraguá do Sul: [s. n.], 2016. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>. 12 ago. 2017.



Referências

- NASCIMENTO JUNIOR, G. C. **Máquinas elétricas:** teoria e ensaios. São Paulo: Editora Érica LTD, 2011.
- WEG S. A. **Motores elétricos:** guia de especificação. Jaraguá do Sul: [s. n.], 2016. Disponível em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>. 12 ago. 2017.

