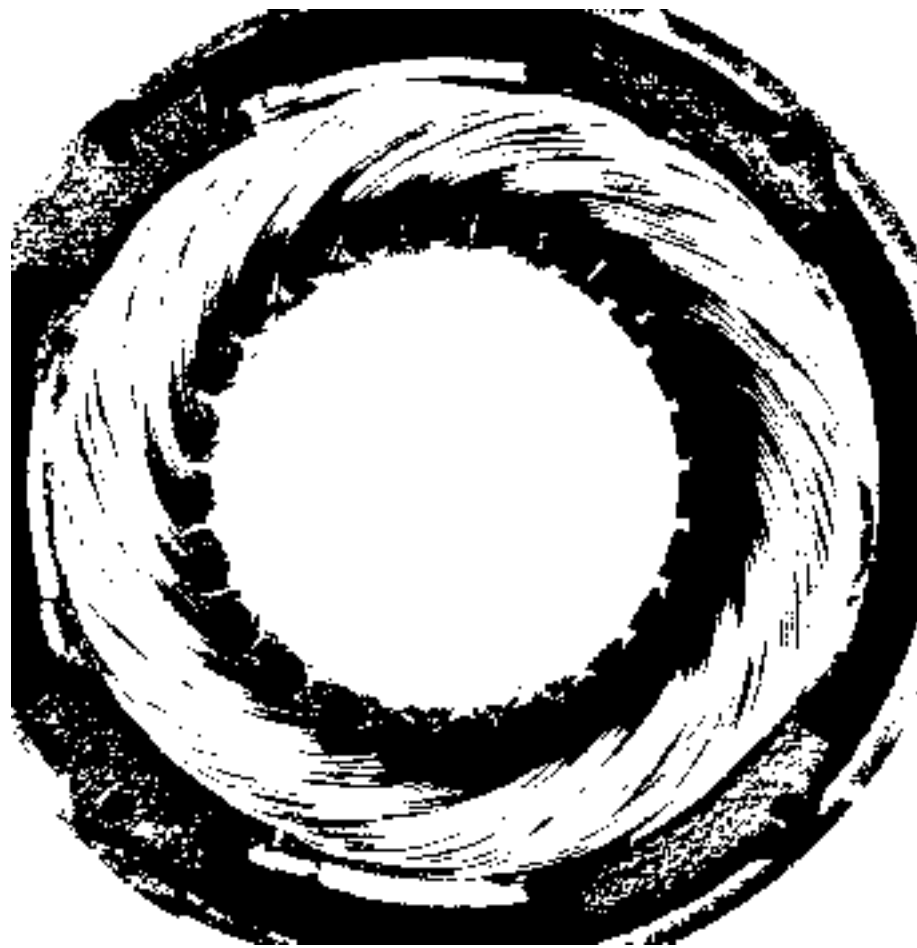




Eletricista de manutenção

Bobinagem de motor
trifásico imbricado



Bobinagem de motor trifásico imbricado

© SENAI-SP, 1986

Trabalho elaborado pela Divisão de Material Didático do Departamento Regional do SENAI-SP.

Equipe responsável

Coordenação geral	Marcos Antonio Gonçalves
Coordenação do projeto	Célia Regina Domingues Talavera
Elaboração	Antonio da Conceição Vieira Antonio Moreno Neto Francisco de Assis Costa e Silva Hernani Rossi Contrucci José Carlos de Souza
Revisão técnica	Antonio Moreno Neto Irandi Dutra
Texto final	José Roberto Reginato
Revisão	Luiz Thomazi Filho
Planejamento gráfico	Marcos Luesch Reis
Composição	Cleide Aparecida da Silva Vanzelli
Produção gráfica	Silvia Regina de Oliveira Simões
Ilustração	José Antonio Datti Fernande
Fotografia	Regina Maria Galli
Coordenação da impressão	Victor Atamanov
Digitalização	UNICOM - Terceirização de Serviços Ltda

Ficha catalográfica

S47b SENAI.SP. **Bobinagem de motor trifásico imbricado**. São Paulo, 1986,
(Série Metódica Ocupacional de Eletricista de Manutenção).

1. Motor elétrico. 2. Motor trifásico, I.t. II.s.

CDU: 621.313.1

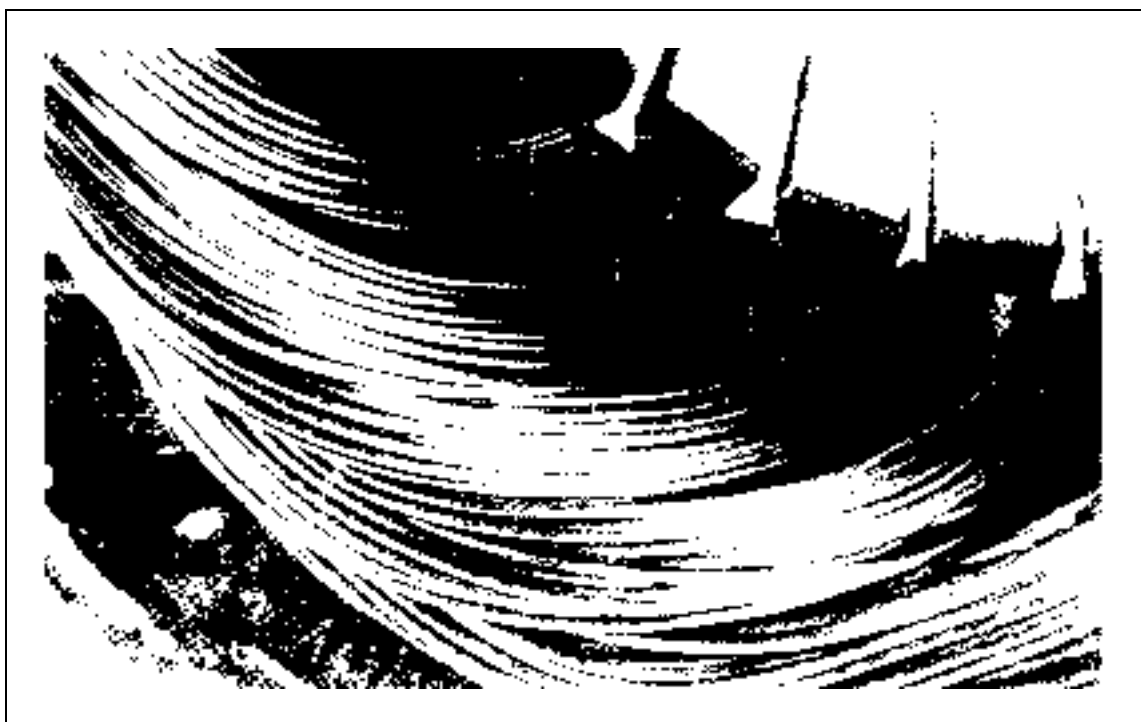
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Departamento Regional de São Paulo Av. Paulista, 1313 - Cerqueira Cesar São Paulo - SP CEP 01311-923
Telefone	(0XX11) 3146-7000
Telefax	(0XX11) 3146-7230
SENAI on-line	0800-55-1000
E-mail	senai@sp.senai.br
Home page	http://www.sp.senai.br

Sumário

Introdução	5
Motores elétricos	7
Enrolamento imbricado	23
Montar enrolamento imbricado	37
Conjugado de um motor	41
Tabela de desempenho para variação da tensão	45
Freio de Prony	47
Bobinagem de motor trifásico imbricado	55
Motores com freio de Prony	59
Fixar e acoplar o motor ao freio de Prony	63
Testar conjugado nominal	65
Testar rotor travado	67
Ensaia motor trifásico com carga	69
Cálculos	71
Motor trifásico imbricado com carga	79
Motor trifásico com carga - Ensaio - Exercício	81
Bobinagem de motores trifásicos imbricados	85

Introdução

Nesta unidade, você vai treinar mais um pouco a rebobinagem de motores.



Bobinar motor trifásico imbricado é colocar dois lados de bobina por ranhura. As bobinas são de igual formato e de um mesmo passo.

Estudando esta unidade, você saberá:

- Montar um motor com enrolamento imbricado;
- Fazer ensaios com o motor para calcular o conjugado, escorregamento, rendimento, fator de potência, potência ativa, potência aparente e outros valores;
- As características de motores elétricos.

Você será informado sobre:

- Motores elétricos;
- Enrolamento imbricado;
- Conjugado;
- Freio de Prony.

Para realizar a tarefa, você vai executar a seguinte operação:

- Montar enrolamento imbricado.

E, para finalizar, você realizará o ensaio de motor trifásico com carga.

Motores elétricos

Você vai receber uma série de informações sobre as características técnicas dos motores elétricos, que lhe darão uma visão geral do assunto. Os motores elétricos podem ser **abertos, fechados e à prova de explosão**.

Motor aberto

É um motor com ventilação interna e que não possui proteção contra pó ou umidade. Entretanto é protegido contra partículas sólidas e contra gotas de água que caiam sobre ele com inclinação máxima de 15° em relação à vertical. Sua carcaça é lisa, sem canais externos de refrigeração. O motor recebe também o nome de **motor à prova de pingos**. De acordo com as normas ABNT, o motor aberto é conhecido como **motor com grau de proteção IP23**.

Motor fechado

É um motor com ventilação externa e que possui proteção contra pó e umidade. O ventilador é montado no eixo e fica na parte externa do motor. A carcaça do motor fechada possui canais externos de refrigeração. A refrigeração, portanto, é feita somente na parte externa da carcaça. O motor fechado recebe também o nome de **motor totalmente fechado com ventilação externa**. De acordo com as normas ABNT, o motor fechado é conhecido como **motor com grau de proteção IP44**.

Veja, na tabela a seguir, a classificação dos motores elétricos.

Tipos de motores elétricos de acordo com as normas da ABNT*Motor aberto com ventilação interna*

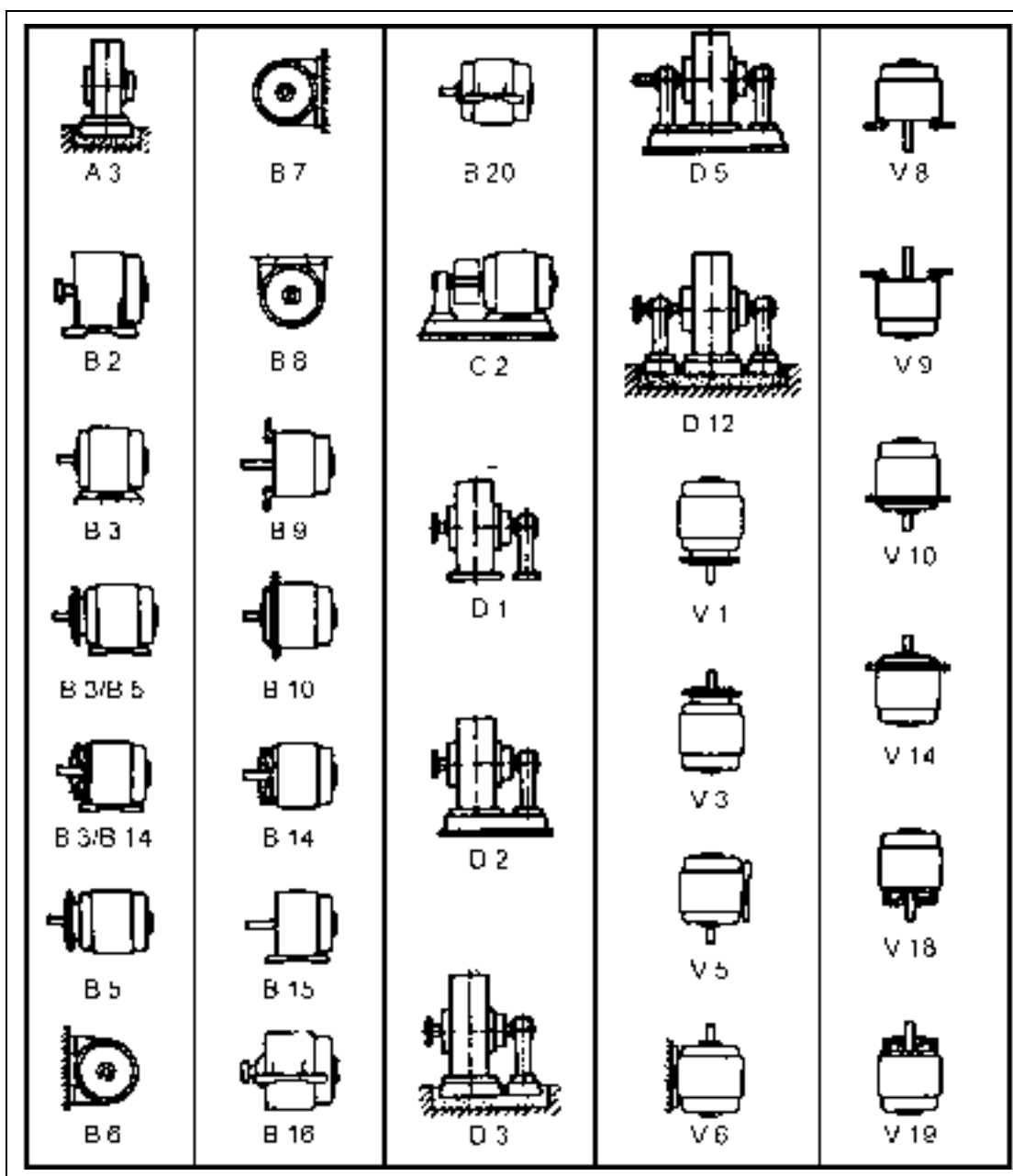
Classe de proteção	1º algarismo		2º algarismo
	Proteção contra contato	Proteção contra corpos estranhos	Proteção contra água
IP00	Não tem	Não tem	Não tem
IP02	Não tem	Não tem	Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
IP11	Toque acidental com a mão	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50 mm	Pingos de água na vertical
IP12			Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
IP13			Água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
IP21	Toque com os dedos	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 12 mm	Pingos de água na vertical
IP22			Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
IP23			Água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical

Motor com refrigeração externa

Classe de proteção	1º algarismo		2º algarismo
	Proteção contra contato	Proteção contra corpos estranhos	Proteção contra água
IP44	Toque com ferramentas	Corpos estranho sólidos de dimensões acima de 1 mm	Respingos de todas as direções
IP54	Proteção completa contra toque	Proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	Respingos de todas as direções
IP55			Jatos de água de todas as direções
IP56			Imersão temporária
IP65	Proteção completa contra toque	Proteção contra poeiras	Jatos de água de todas as direções

Vamos agora interpretar a tabela. Na primeira coluna está escrito o nome do tipo de motor. Na segunda coluna você encontra a sigla do motor. Essa sigla é composta das letras I e P e de mais dois algarismos. As letras IP significam índice de proteção. O primeiro algarismo significa a proteção que o motor possui contra vários tipos de contatos e corpos estranhos. O segundo algarismo significa a proteção que o motor possui contra vários tipos de ação da água.

Os motores são fabricados em diversos formatos, de acordo com a maneira como vão ser instalados. Veja, na figura abaixo, as diversas formas construtivas de motores.



Motor à prova de explosão

É um motor que resiste à explosão de gases ou misturas explosivas no seu interior, impedindo que essas explosões se propaguem e atinjam gotas ou misturas inflamáveis ao redor do motor.

As condições usuais de serviço dos motores elétricos são:

- Temperatura ambiente não superior a 40°;
- Meio ambiente isento de elementos prejudiciais ao funcionamento do motor;
- Localização à sombra;
- Altitude do local não superior a 1.000m acima do nível do mar.

Menos favoráveis que as condições usuais, as **condições especiais de serviço** são as seguintes:

- Exposição a fumaças;
- Funcionamento em locais excessivamente úmidos;
- Funcionamento em velocidades que excedem os limites permanentes;
- Exposição a poeiras, vapores, gases combustíveis ou explosivos;
- Exposição a poeiras abrasivas, condutoras ou excessivas;
- Exposição a fibras;
- Exposição a vapor d'água;
- Funcionamento em ambientes com pouca ventilação;
- Exposição a temperaturas sempre inferiores a 10°C ou superiores a 40°C;
- Exposição ao ar salgado ou de ambientes corrosivos;
- Exposição a choques, vibrações ou basculamentos provenientes de fontes externas;
- Funcionamento com tensão fora do limite de tolerância de $\pm 10\%$;
- Funcionamento com frequência fora do limite de tolerância de $\pm 5\%$;
- Soma das tolerâncias de tensão e de frequência ultrapassando $\pm 10\%$;
- Funcionamento com tensões desequilibradas;
- Funcionamento sem interrupção de motores com características de uso para regime de tempo limitado.

Regime de serviço

É o funcionamento do motor com valores regulares de carga.

O **rendimento** do motor é a porcentagem calculada da seguinte forma:

- $$\text{rendimento} = \frac{\text{potência produzida pelo motor}}{\text{potência absorvida da linha pelo motor}} \cdot 100\%$$

Fator de potência

É a razão entre a potência útil ou ativa e a potência absorvida da linha pelo motor:

- fator de potência = $\frac{\text{potência útil}}{\text{potência absorvida da linha pelo motor}}$

Dentro dos limites práticos, o fator de potência aumenta quando há um acréscimo de carga.

Fator de serviço

É um número que, multiplicado pela potência nominal do motor, fornece o valor de sobrecarga que pode ser aplicada continuamente em condições específicas.

Tensão de alimentação

As tensões mais usadas nas redes elétricas industriais são as de 220V, 380V e 440V.

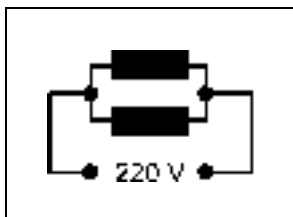
Essas tensões são trifásicas e possuem frequência de 60Hz. Há também motores de alta tensão, como por exemplo, de 6.600V. Esses motores de alta tensão são usados em casos que requeiram potências superiores a 300cv.

Tensão nos motores

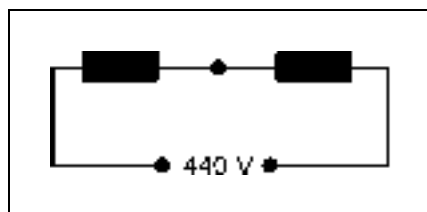
Em sua maioria, os motores são fabricados para serem ligados, no mínimo, em duas tensões diferentes. Vamos estudar agora os tipos de ligações internas nos motores para que possam ser ligados em tensões diferentes.

Motores fabricados para funcionar com 220V e 440V

Na figura abaixo, temos duas bobinas de um motor ligadas em paralelo e alimentadas com 220V.



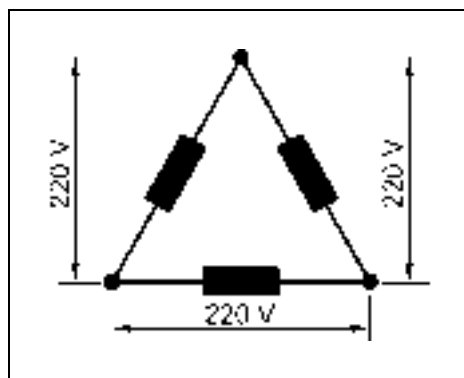
Ligando-se essas mesmas bobinas em série, elas poderão ser alimentadas com 440V, produzindo o mesmo campo magnético. Veja esta ligação na figura.



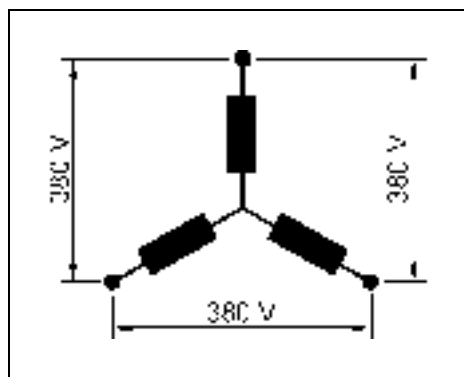
A mudança de ligação das bobinas, de paralelo para série, é feita com a ligação adequada dos bornes na caixa de ligação do motor.

Motores fabricados para funcionar com 220V e 380V

Na figura seguinte temos três bobinas de um motor formando uma ligação que é chamada **triângulo**. O símbolo da ligação triângulo é Δ . As bobinas estão alimentadas com 220V.



Essas mesmas bobinas podem ser ligadas formando uma outra ligação, chamada **estrela**. O símbolo da ligação estrela é Y . Na ligação Y as bobinas são alimentadas com 380V. Veja na figura abaixo a ligação estrela.



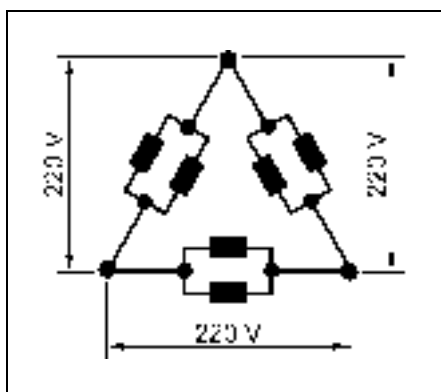
O valor 380V é obtido efetuando-se a multiplicação $220V \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{3}$ é o fator da corrente trifásica.

Um motor deste tipo pode ainda ser ligado primeiramente com 220V na ligação Y, até atingir, a velocidade nominal, para depois ser ligado à mesma tensão na ligação Δ . Esta operação recebe o nome de **partida estrela-triângulo**.

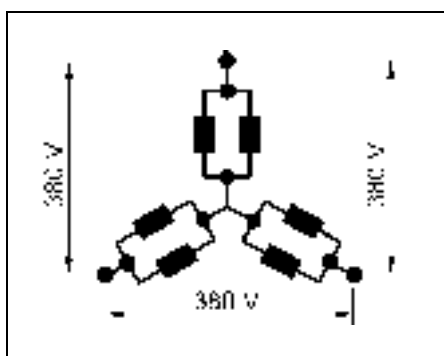
As ligações de 220V e 380V são mais comuns motores pequenos e médios.

Motores fabricados para funcionar com 220V, 380V e 440V.

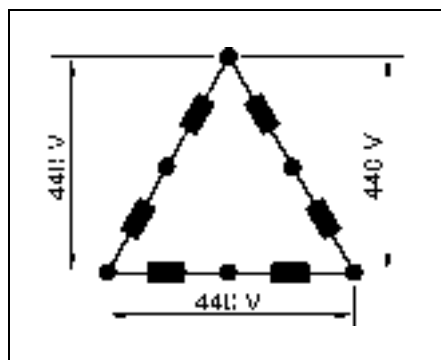
Esses motores são chamados de **tripla tensão**. Essas três tensões são obtidas combinando-se as ligações em série, em paralelo, estrela e triângulo. Veja na figura seguinte o esquema de ligação entre as bobinas do motor para funcionamento com 220V. Esse tipo de ligação chama-se **duplo triângulo**.



Observe na figura a seguir o esquema para o motor funcionar com 380V. Esse tipo de ligação chama-se **dupla estrela**.



Veja na figura seguinte o esquema para o motor funcionar com 440V. Esse tipo de ligação chama-se **triângulo**.



Observação

Alguns fabricantes utilizam bobinas em série na ligação **dupla estrela**. O valor da tensão, neste caso, seria de 760V, que é o resultado da multiplicação $440V \cdot \sqrt{3}$. A tensão de 760V não é padronizada para circuitos de baixa tensão. Portanto, esta ligação só será usada para **partida estrela-triângulo** em redes de 440V.

Sentido de rotação dos motores

Os motores elétricos são fabricados para girar nos dois sentidos. Há casos especiais em que a rotação é feita em sentido único. Nesses motores com um único sentido de rotação há uma seta, na carcaça, indicando o sentido correto da rotação. Nos motores com duplo sentido é obtido trocando-se a ligação de dois condutores de alimentação. Olhando de frente a ponta do eixo do motor, dizemos que o sentido da rotação é **horário** ou **anti-horário**, conforme seja o caso.

A energia elétrica dentro do motor

Um motor funcionando a plena carga absorve um energia elétrica que é quase totalmente transformada em **potência útil efetiva**. A diferença entre a **potência absorvida** da rede e a **potência efetiva** do motor é transformada, em sua maior parte, em calor. Esse calor é absorvido pelas partes do motor, tais como carcaça, tampas laterais, rotor, rolamentos e, em seguida, é dissipado no ar ambiente. A dissipação é auxiliada pelo ventilador montado no eixo do motor.

O motor, quando está ligado, encontra-se à temperatura ambiente.

Depois de ligado, sua temperatura aumenta devido à produção de calor. Quando o calor absorvido é igual ao calor dissipado, dizemos que o motor atingiu um ponto de equilíbrio. Esse equilíbrio depende da área total do motor e da eficiência de ventilador. Quanto maior for a área, menor será a temperatura final de equilíbrio.

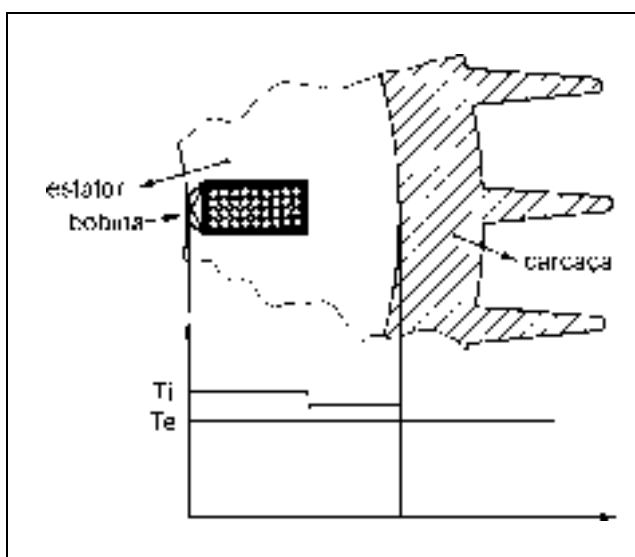
A temperatura de equilíbrio ideal seria obtida com um motor com grande área de dissipação, ou seja, com uma grande carcaça em relação à potência. Mas isto tornaria o custo do motor muito elevado. Por esta razão, constróem-se motores com carcaças pequenas, usando-se materiais que suportem temperaturas elevadas.

Normalmente encontram-se motores cujas temperaturas externas atingem 80°C, 90°C ou mais, e mesmo assim esses motores continuam funcionando dentro de suas características, sem reduzir suas vidas úteis. Isto se deve a materiais isolantes modernos e que suportam temperaturas elevadas.

A transferência do calor

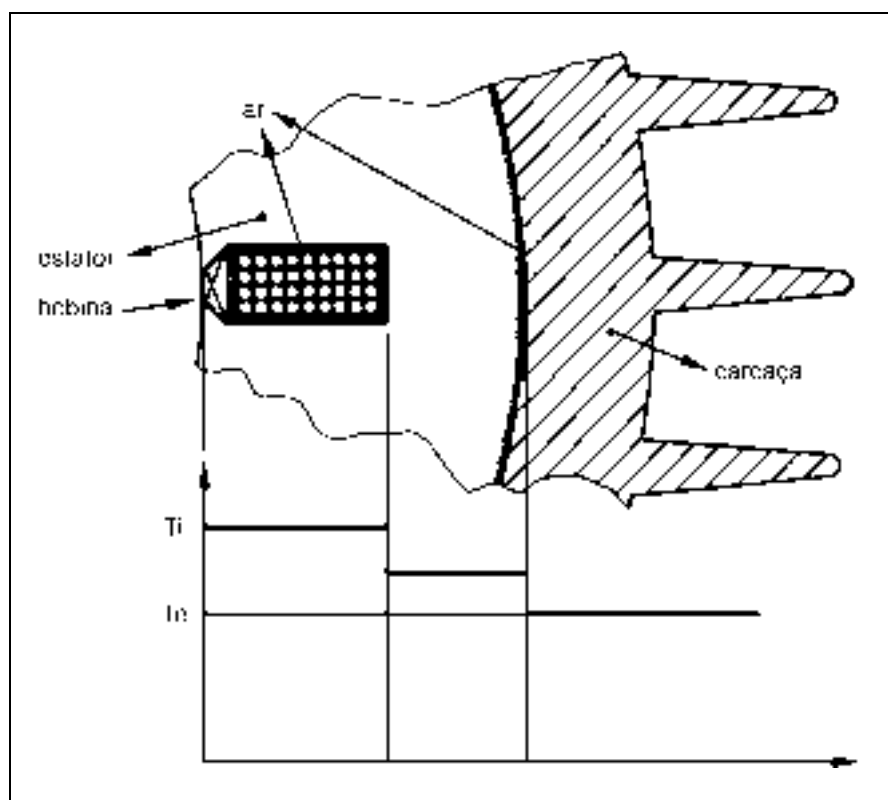
O calor gerado pelos enrolamentos dentro do motor deverá ser transferido para a superfície externa, da melhor maneira possível. Isto depende da espessura da carcaça, da área de contato entre as diversas partes do motor e dos materiais isolantes utilizados. Quanto melhor for o contato entre os materiais componentes do motor, melhor ocorrerá essa transferência de calor.

Superfícies irregulares provocam mau contato e, como conseqüência, má condutibilidade térmica. Observe a figura a seguir.



A figura anterior mostra um motor com boa transferência de calor. Observe que as bobinas, o estator e a carcaça estão diretamente em contato entre si, sem espaços vazios.

A temperatura externa T_e é apenas um pouco menor que a temperatura interna T_i . Vamos agora analisar a próxima figura.



A figura acima mostra um motor com má transferência de calor. Observe que entre a bobina e estator e a carcaça há acúmulo de ar, o que impede o contato direto entre essas partes do motor, dificultando a transferência de calor. A temperatura T_e é bem menor que a temperatura T_i . Isto nos dá uma falsa imagem do funcionamento do motor. Ele pode estar **frio** em sua parte externa, mas, internamente, a temperatura poderá estar tão elevada de modo que chegue a danificar o material isolante.

Temperatura externa do motor

Antigamente utilizava-se, com freqüência, o contato manual com o motor para se avaliar se ele estava sobrecarregado. Esse método é enganoso, pois o motor pode ter má transferência de calor. Os motores mais modernos têm um princípio construtivo cujo objetivo é atingir um tipo de motor como o da figura da página anterior.

Este princípio consiste em unir, o mais estreitamente possível, o pacote de chapas do estator à carcaça, conseguindo, assim, maior transferência de calor e obtendo uma temperatura da superfície da carcaça bem próxima à temperatura dos enrolamentos.

Aquecimento do ambiente

O aquecimento do ambiente onde estão instalados motores depende das perdas de calor e não das temperaturas das carcaças. Além disso, as máquinas acionadas pelos motores também contribuem, para o aquecimento do ambiente.

Observação importante

A temperatura da carcaça não se presta à avaliação da qualidade do motor ou do aquecimento do ambiente. Um motor externamente **frio** pode ter maiores perdas ou maior aquecimento dos enrolamentos do que um motor externamente **quente**.

Tipos de isolantes

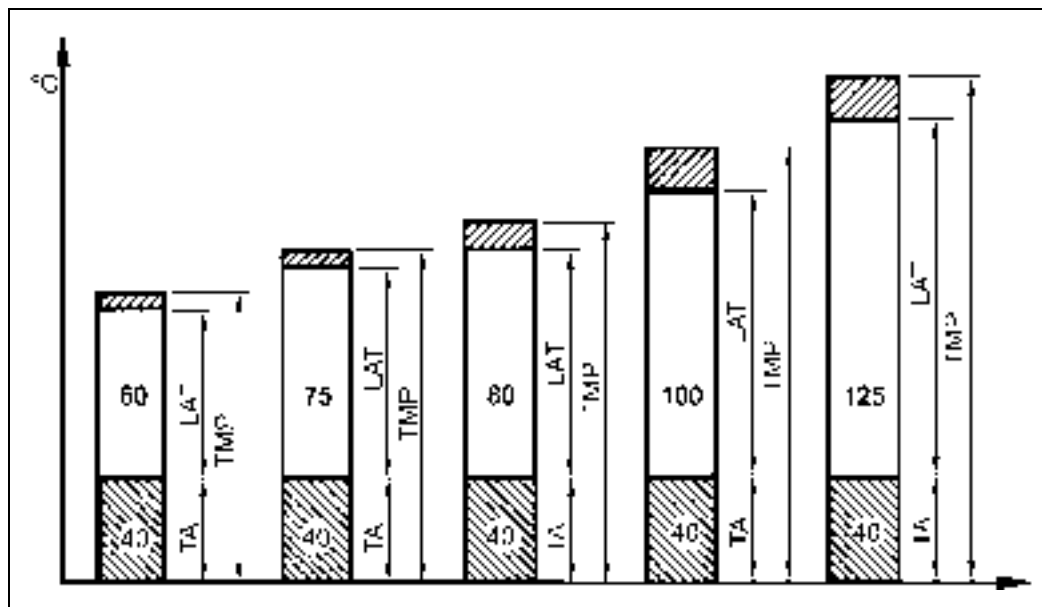
Há vários materiais isolantes empregados na fabricação de motores. Como exemplo, podemos relacionar os seguintes:

- Material utilizado na isolação de fios;
- Material utilizado na impregnação das bobinas;
- Lã de vidro;
- Asbesto;
- Papel;
- Algodão.

Classes de isolamento

Os materiais isolantes são classificados de acordo com a temperatura máxima que suportam. Segundo a **ABNT**, há cinco grupos de isolantes. Cada um desses grupos é chamado **classe de isolamento**. Cada classe de isolamento é identificada por uma letra. Assim, temos as classes **A, E, B, F e H**.

Observe, no gráfico abaixo, as temperaturas das classes de isolamento.



Vamos agora interpretar esse gráfico:

- **TA** significa temperatura do meio ambiente;
- **LAT** significa o limite permissível de aumento de temperatura no motor;
- **TMP** significa a temperatura máxima permissível do material isolante.

Observe que, para todas as classes, **TA** é igual a 40°C. Isto significa que a classificação é feita considerando-se que todos os isolantes partem do mesmo nível térmico, de 40°C. Já o **LAT** é diferente para cada classe, pois depende do tipo de material isolante.

O valor da **TMP** de cada uma das classes é:

- Classe A: 105°C;
- Classe E: 120°C;
- Classe B: 130°C;
- Classe F: 155°C;
- Classe H: 180°C.

Até atingir essas temperaturas, o material isolante de cada classe mantém suas propriedades isoladoras, sem sofrer danos.

Observe também, no gráfico, que há uma pequena diferença entre a **TMP** e a temperatura atingida depois de ser aplicado o **LAT** ao motor. Isto acontece porque a

temperatura, medida por qualquer processo, será sempre a temperatura **média** da bobina.

Portanto, poderão existir pontos mais quentes e pontos mais frios no motor. Então, para se ter segurança em relação a esses pontos mais quentes, nunca se deve deixar o motor atingir a temperatura máxima permissível do material isolante, **TMP**.

A temperatura máxima do motor, na prática, deve estar sempre alguns graus abaixo da **TMP**. Veja abaixo os valores das temperaturas máximas que uma bobina de um motor poderá atingir:

- Classe **A**: 100°C ou 5°C abaixo da **TMP**;
- Classe **E**: 115°C ou 5°C abaixo da **TMP**;
- Classe **B**: 120°C ou 10°C abaixo da **TMP**;
- Classe **F**: 140°C ou 15°C abaixo da **TMP**;
- Classe **H**: 165°C ou 15°C abaixo da **TMP**.

Observação importante

Não esqueça que a classe de isolamento de um motor fornece apenas o **aumento de temperatura** permissível e não a **temperatura final** a ser atingida. Por exemplo, se um motor tem classe de isolamento **B**, então o aumento máximo permissível, **LAT**, é de 80°C. Esta temperatura deve ser somada à temperatura inicial do motor, que é a temperatura ambiente. Se, por exemplo, a temperatura ambiente for igual a 20°C, então a temperatura máxima que o motor poderá atingir será 100°C.

Vida útil do motor

A vida útil de um motor depende, quase que exclusivamente, da vida útil de seu material isolante. A vida útil do material isolante depende da temperatura ambiente, da umidade do ar e das condições de serviço. Condições de serviço são as forças eletrodinâmicas nas frenagens e nas acelerações, as vibrações, ambientes corrosivos, etc. Para cada 8°C de acréscimo sobre a temperatura máxima, a vida útil do material isolante cai para a metade.

Influência da altitude na vida útil do motor

A altitude do local, em relação ao nível do mar, influi sobre a temperatura do motor. Os motores são padronizados para ser utilizados até a 1.000m acima do nível do mar. Para altitudes superiores, o ar torna-se rarefeito e isto diminui a ventilação e a dissipação do calor. Para motores que vão trabalhar em altitudes superiores a 1.000m, ou em temperaturas acima de 40°, o limite permissível de aumento de temperatura, **LAT**, para cada classe de isolamento, deve ser menor.

Condições anormais de ambiente

A potência nominal de um motor é estabelecida para as condições de o motor funcionar num ambiente com temperatura de 40°C e estar situado a até 1.000m acima do nível do mar. Para valores diferentes destes, a potência admissível deverá ser diferente. Veja a tabela abaixo. Ela mostra as porcentagens da potência nominal que devem ser utilizadas em temperaturas diferentes.

Temperatura ambiente °C	Potência admissível (% da potência nominal)
30	107
35	104
40	100
45	96
50	92
55	87
60	82

Observe que, para temperaturas inferiores a 40°C, o motor pode trabalhar com potência superior à nominal. Para temperaturas superiores a 40°C, a potência deverá ser reduzida.

Veja agora a tabela abaixo. Ela nos mostra as porcentagens da potência nominal que devem ser utilizadas em altitudes diferentes.

Altura acima do nível do mar	Potência admissível
Em m	(% da potência nominal)
1.000	100
1.500	97
2.000	94
2.500	90
3.000	86
3.500	82
4.000	77

Observe que para altitudes superiores a 1.000m deverá haver sempre uma redução da potência. Um motor instalado a altitude superior a 1.000m poderá trabalhar sem redução de potência se a temperatura ambiente for menor que 40°C.

Um motor funcionando em ambiente com temperatura superior a 40°C poderá trabalhar sem redução de potência se for usado um material isolante de classe superior, por exemplo, de **B** para **F** ou de **F** para **H**. Um motor com classe de isolamento **B** poderá ter sua potência aumentada em até 10% se for usado um isolante de classe **F**. Por exemplo, se a potência de um motor é de 30cv, em um ambiente de temperatura de 50°C, essa potência deve ser reduzida a 92% do seu valor, ou seja, deve ser igual a 27,6cv. Se este motor for equipado com material isolante de classe **B**, ele pode trabalhar com sua plena potência se for usado um isolante de classe **F**.

Classificação de motores trifásicos

A classificação de motores trifásicos apresentada a seguir é feita de acordo com a ventilação do motor e a densidade da corrente que o percorre.

Motores blindados

São motores totalmente fechados, nos quais a densidade da corrente admitida nos enrolamentos é de 2A/mm².

Motores semi-abertos

São motores abertos, com pouca ventilação, nos quais a densidade de corrente admitida nos enrolamentos é de $3A/mm^2$.

Motores abertos

São motores abertos, com boa ventilação natural ou artificial e nos quais a densidade de corrente admitidas nos enrolamentos é de $4A/mm^2$.

Enrolamento imbricado

Enrolamento imbricado é o que possui dois lados de bobina por ranhura. A quantidade total de bobinas é igual à quantidade total de ranhuras. Todas as bobinas têm a mesma quantidade de espiras, o mesmo formato e o mesmo passo. O enrolamento imbricado também é conhecido pelos nomes **diamante** ou **coroa**. Observe na figura abaixo um enrolamento imbricado.



Enrolamento trifásico imbricado

É um enrolamento imbricado montado num motor trifásico.

Motores com enrolamento imbricado

Os motores com potências até 50cv são enrolados com fios simples ou, então, com 2, 3, 4, 5 ou 6 fios em paralelo.

Nos motores de potências maiores as bobinas possuem poucas espiras. Neste caso, as espiras são enroladas com barras. A seção destas barras deve ser igual à soma de todas as seções dos fios que seriam necessários em paralelo.

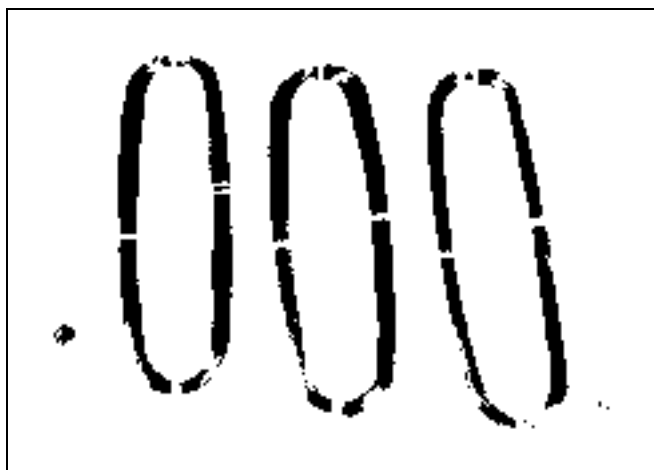
As bobinas enroladas com barras não são flexíveis. Portanto, estas bobinas não podem ser moldadas nas ranhuras. Por esta razão, as bobinas enroladas com barras são confeccionadas em moldes especiais que lhes dão o formato necessário.

O enrolamento imbricado presta-se a qualquer tamanho de motor devido à grande quantidade de bobinas, sempre igual ao número de ranhuras. Um motor trifásico montado com enrolamento imbricado chama-se **motor trifásico imbricado**.

Quantidade de bobinas no enrolamento imbricado

No enrolamento imbricado, o número de bobinas por pólo e fase, ou de bobinas por grupo, deve ser de 3, 4, 6 ou até mais bobinas nos motores de 6, 4 ou 2 pólos.

Por isso as ligações entre bobinas de um mesmo grupo são numerosas, tornando a tarefa de enrolar bastante trabalhosa. Este inconveniente fica atenuado enrolando-se as bobinas do mesmo grupo em fôrmas iguais justapostas, sem se cortar o fio. Observe a ilustração desse processo na figura abaixo.



Após o término de cada bobina, amarram-se todas as espiras, menos a última. A última bobina fica solta para permitir o livre movimento das bobinas ao serem colocadas nas ranhuras. A última espira da última bobina deve ser amarrada. Este recurso só pode ser

utilizado em motores nos quais o enrolamento é feito com fios mais finos que o fio 14. Fios mais grossos que o fio 14, bem como as barras, só permitem bobinas enroladas em separados e, posteriormente, ligadas entre si nos grupos a que pertencem.

Passo polar

Para se calcular o passo polar de um enrolamento trifásico imbricado aplica-se a fórmula:

$$\text{passo polar} = \frac{\text{número de ranhuras}}{\text{número de pólos}} \text{ ou, de forma abreviada, } Y_p = \frac{Nr}{p}$$

Passo da bobina

O passo da bobina no enrolamento trifásico imbricado pode ser feito **inteiro**, **fracionário** ou **superior**. Vamos estudar separadamente cada um desses casos.

O passo da bobina será **inteiro** se ele for igual ao passo polar. Para nos referimos ao passo da bobina inteiro escrevemos o símbolo Y_{bi} . Consideramos um motor trifásico imbricado com 36 ranhuras e 2 pólos. Vamos calcular o passo da bobina inteiro:

$$Y_p = \frac{Nr}{p}$$

Pela definição de passo da bobina inteiro =, $Y_{bi} = Y_p$.

Substituindo os valores nesta fórmula, temos:

$$Y_{bi} = \frac{36}{2}$$

$$Y_{bi} = 18 \text{ dentes}$$

Este mesmo resultado pode ser também interpretado da seguinte forma: 18 dentes = ranhuras 1 a 19.

O passo da bobina será **fracionário** ou **curto** se ele for igual a 4/5 do passo polar. Para nos referimos ao passo da bobina fracionário escrevemos o símbolo Y_{bf} .

Consideramos um motor trifásico imbricado com 36 ranhuras e 2 pólos. Vamos calcular o passo da bobina fracionário.

$$Y_p = \frac{Nr}{p} \rightarrow Y_p = \frac{36}{2} \rightarrow Y_p = 18$$

Pela definição de passo da bobina fracionária, $Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot Y_p$.

$$Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot Y_p \rightarrow Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot 18 \rightarrow Y_{bf} = \frac{72}{5}$$

Efetuada a divisão de 72 por 5, obtemos $Y_{bf} = 14,4$.

Neste caso deverá ser feita uma aproximação, pois o Y_{bf} deve ser um número inteiro maior ou menos mais próximo, que dependerá do tipo de bobinagem. Desta maneira poderemos ter os casos:

$Y_{bf} = 14$ dentes = ranhuras 1 a 15 **ou** $Y_{bf} = 15$ dentes = ranhuras 1 a 16.

O passo da bobina será **superior** se ele for igual a $\frac{6}{5}$ do passo polar. Para nos referimos ao passo da bobina superior escrevemos o símbolo Y_{bs} . Consideramos um motor trifásico imbricado com 36 ranhuras e 2 pólos.

$$Y_p = \frac{Nr}{p} \rightarrow Y_p = \frac{36}{2} \rightarrow Y_p = 18$$

Pela definição de passo da bobina superior, $Y_{bs} = \frac{6}{5} \cdot Y_p$.

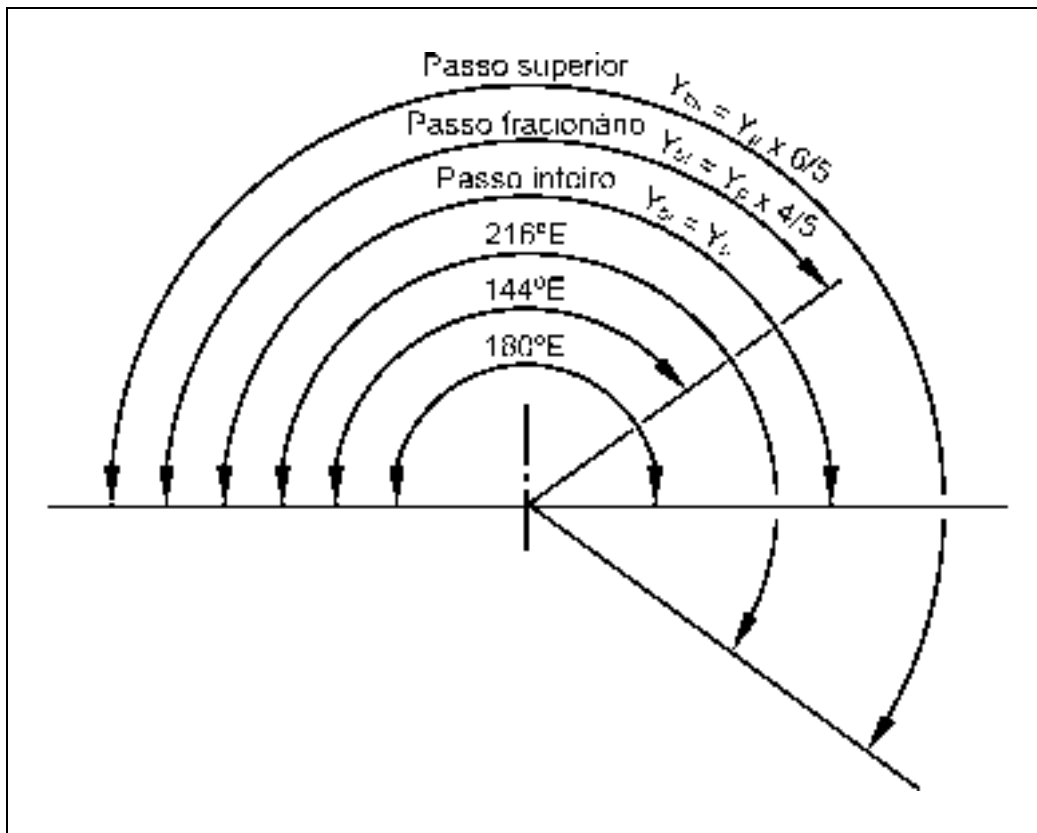
$$Y_{bs} = \frac{6}{5} \cdot Y_p \rightarrow Y_{bs} = \frac{6}{5} \cdot 18 \rightarrow Y_{bs} = \frac{108}{5}$$

Efetuada a divisão de 108 por 5, obtemos $Y_{bs} = 21,6$.

Dependendo do tipo de bobinagem, poderemos ter as seguintes aproximações:

$Y_{bs} = 21$ dentes = ranhuras 1 a 22 **ou** $Y_{bs} = 22$ dentes = ranhuras 1 a 23.

Podemos representar os valores do passo inteiro, do passo fracionário e do passo superior através do esquema a seguir.



Número de bobinas

Para nos referimos ao número de bobinas escrevemos o símbolo N_b .

Número de fases

Para nos referimos ao número de fases escrevemos a letra f .

Graus elétricos totais

Para nos referimos ao total de graus elétricos escrevemos o símbolo GET. A quantidade de graus elétricos de um pólo é 180. A fórmula para se calcular o total de graus elétricos é: graus elétricos totais = 180 graus elétricos x número de pólos ou, de forma abreviada, $GET = 180^\circ E \cdot p$.

Graus elétricos por ranhura

Para nos referirmos à quantidade de graus elétricos em cada ranhura escrevemos o símbolo GER. A fórmula para se calcular a quantidade de graus elétricos por ranhura é: graus elétricos por ranhura = $\frac{\text{graus elétricos totais}}{\text{número de ranhuras}}$.

A fórmula para se calcular a quantidade de graus elétricos por ranhura pode ser abreviada do seguinte modo:

$$\text{GER} = \frac{\text{GET}}{\text{Nr}}$$

Número de bobinas por pólo e fase ou número de bobinas por grupo

Para nos referirmos ao número de bobinas por pólo e fase escrevemos bob/p e f. A fórmula para se calcular o número de bobinas por pólo e fase é:

$$\text{n}^\circ \text{ de bobinas por pólo e fase} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de bobinas}}{\text{n}^\circ \text{ de pólos} \cdot \text{n}^\circ \text{ de fases}} \text{ ou, de forma abreviada,}$$
$$\text{bob/p e f} = \frac{\text{N}_b}{\text{p} \cdot \text{f}}$$

Passo da fase

Para nos referirmos ao passo da fase escrevemos o símbolo Y_f . A defasagem do sistema trifásico é de 120 graus elétricos. A fórmula para se calcular o passo da fase é:

$$\text{passo da fase} = \frac{120 \text{ graus elétricos}}{\text{graus elétricos por ranhura}} \text{ ou, de forma abreviada, } Y_f = \frac{120^\circ \text{E}}{\text{GER}}$$

Bobinas levantadas

Bobinas levantadas são bobinas com um só lado colocado. Nos motores imbricados é sempre necessário deixar um certo número de bobinas levantadas para serem as últimas a se encaixar.

Número de bobinas levantadas

Para nos referirmos ao número de bobinas levantadas escrevemos o símbolo N_{bl} .

A fórmula para se calcular o número de bobinas levantadas é:

número de bobinas levantadas = passo da bobina - 1 ou, de forma abreviada,

$$N_{bl} = Y_b - 1.$$

Cálculos de enrolamentos trifásicos imbricados

Agora você vai acompanhar a resolução de um problema sobre enrolamento trifásico imbricado.

Exemplo

Um motor trifásico imbricado tem 36 ranhuras e 4 pólos. Calcule:

a) O número de bobinas:

$$N_b = N_r$$

Portanto, $N_b = 36$ bobinas.

b) O passo polar:

$$Y_p = \frac{N_r}{p} \rightarrow Y_p = \frac{36}{4} \rightarrow Y_p = 9 \text{ dentes} = \text{ranhuras } 1 \text{ a } 10.$$

c) O passo da bobina fracionário

$$Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot Y_p \rightarrow Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot 9 \rightarrow Y_{bf} = \frac{36}{5}$$

Efetuada-se a divisão, $Y_{bf} = 7,2$.

Aplicando-se a aproximação, $Y_{bf} \cong 8$.

Portanto, $Y_{bf} = 8$ dentes = ranhuras 1 a 9.

d) O número de bobinas por pólo e fase ou por grupo

$$\text{bob/p e f} = \frac{N_b}{p \cdot f} \rightarrow \text{bob/p e f} = \frac{36}{4 \cdot 3} \rightarrow \text{bob/p e f} = \frac{36}{12} = 3$$

Portanto, bob/p e f = 3 bobinas por pólo e fase.

e) O número de graus elétricos totais

$$\text{GET} = 180^\circ \text{E} \cdot p \rightarrow \text{GET} = 180^\circ \text{E} \cdot 4 \rightarrow \text{GET} = 720^\circ \text{E}$$

f) O número de graus elétricos por ranhura

$$GER = \frac{GET}{Nr} \rightarrow GER = \frac{720^\circ E}{36} \rightarrow GER = 20^\circ E$$

g) O passo da fase

$$Y_f = \frac{120^\circ E}{GER} \rightarrow Y_f = \frac{120^\circ E}{20^\circ E} \rightarrow Y_f = 6$$

Portanto, $Y_f = 6$ dentes = ranhuras 1 a 7.

h) O número de bobinas levantadas

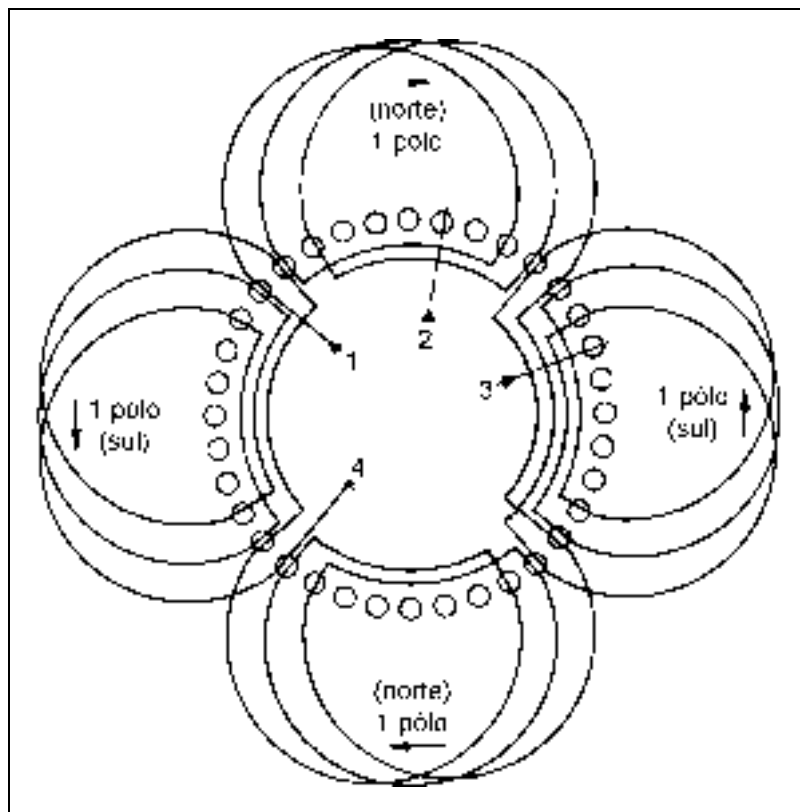
$$N_{bl} = Y_b - 1 \rightarrow N_{bl} = 9 - 1 \rightarrow N_{bl} = 8$$

Portanto, há 8 bobinas com um só lado colocado.

Esquemática das bobinas

Considerando os valores calculados no exemplo anterior, vamos fazer um esquema mostrando como ficará a montagem das bobinas.

Veja na figura o esquema das bobinas do motor trifásico imbricado de 36 ranhuras e 4 pólos.



Observação

Os valores calculados anteriormente podem, também ser encontrados em uma tabela que você vai ver a seguir.

Tabela de passos e de distribuição

		Ranuras do estator								
		12	18	24	30	36	48	54	60	72
2 pólos	Yp	6	9	12	15	-	-	-	-	-
	bob/pef	2	5	4	5	-	-	-	-	-
	Yb	5	7	9	11	-	-	-	-	-
4 pólos	Yp	3	4,5	6	7,5	9	12	-	-	-
	bob/pef	1	1,5 ou 2-1-2-1 ou 3-2-2-2	2	2,5 ou 3-2-3-2	3	4	-	-	-
	Yb	3	4 - 3	5	6	7	9	-	-	-
6 pólos	Yp	-	3	-	6	-	9	-	12	
	bob/pef	-	1	-	-	2	-	3	-	4
	Yb	-	3	-	-	5	-	7	-	9
8 pólos	Yp	-	-	3	-	4,5	6	6	7,5	9
	bob/pef	-	-	1	-	1,5 ou 2-1-2... ou 3-0-3...	2	-		3
	Yb	-	-	3	-	3	5	-	5	7
10 pólos	Yp	-	-	-	3	-	-	-	6	-
	bob/pef	-	-	-	1	-	-	-	2	-
	Yb	-	-	-	3	-	-	-	5	-

Vamos agora interpretar essa tabela. Na coluna vertical, à esquerda, estão relacionadas as quantidades de ranhuras que o motor pode ter. Na linha horizontal, no topo da tabela, estão relacionadas as quantidades de pólos que o enrolamento pode ter.

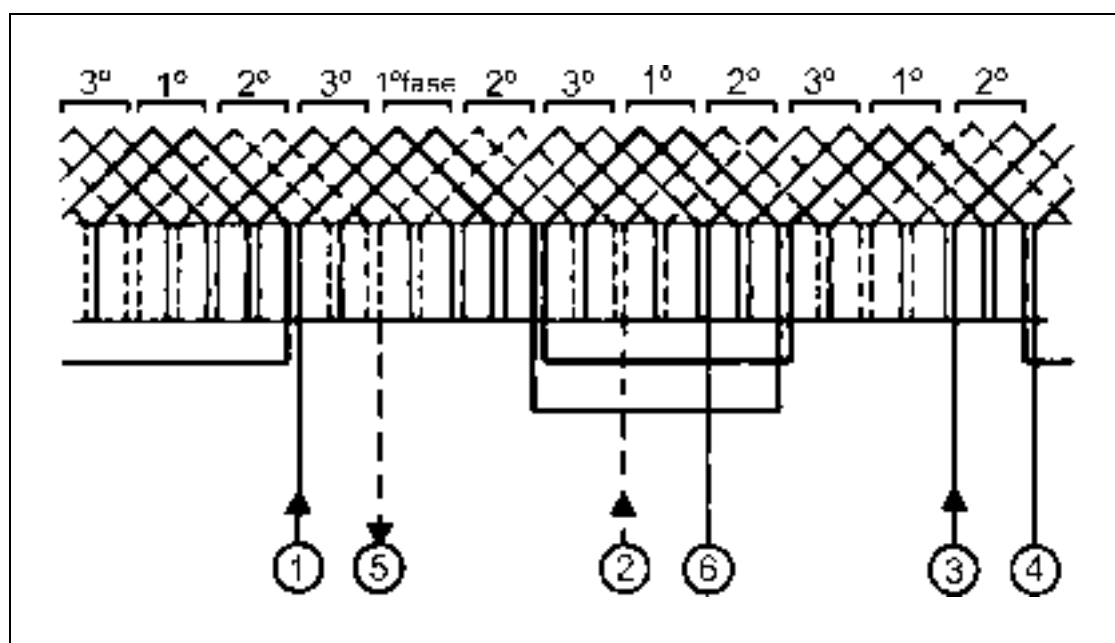
Para cada valor de ranhuras e de pólos a tabela fornece os valores do passo polar Y_p , do número de bobinas por pólos e fase bob/p e f e o passo da bobina Y_b . Desta maneira, a tabela nos permite conferir a exatidão dos enrolamentos imbricados de vários tipos de motores, sem a necessidade de recorrermos aos cálculos apresentados anteriormente.

Os espaços em branco na tabela indicam que os enrolamentos nesses casos, são pouco usados ou mesmo impossíveis.

Vamos agora examinar alguns exemplos de esquemas de enrolamentos imbricados em motores trifásicos.

Esquema de um motor trifásico imbricado com 24 ranhuras e 4 pólos

Consultando a tabela de passos e distribuição, verificamos que o passo polar é 6, o número de bobinas por pólo e fase é 2 e o passo da bobina é 5. Veja agora o esquema deste motor na figura seguinte.

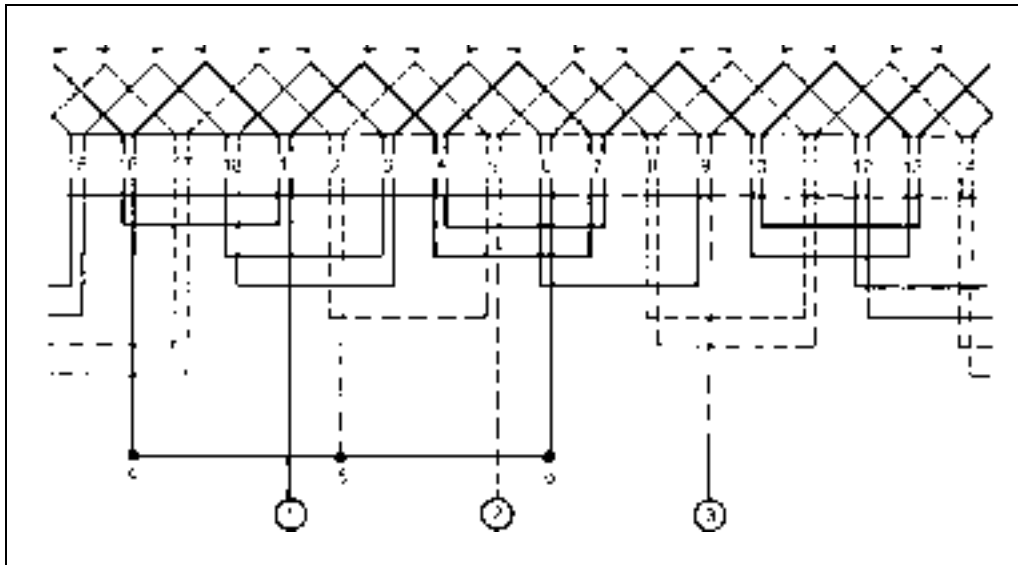


Observe que a 2ª fase está ligada após o 2º pólo da 1ª fase. A 3ª fase está ligada após o 2º pólo da 2ª fase. Essas ligações são feitas desta maneira para tornar fácil a distribuição das pontas das entradas e saídas de fases nos motores com 4 ou mais fases.

Notamos também que a primeira fase está toda ligada. Na segunda fase estão indicadas somente as entradas e saídas. Isto ocorre para não se confundir com a operação de se ligarem os pólos invertidos uns com outros.

Esquema de um motor trifásico imbricado com 18 ranhuras e 6 pólos

Consultando a tabela de passos e distribuição, verificamos que o passo polar é 3, o número de bobinas por pólo e fase é 1 e o passo da bobina é 3. Veja agora o esquema deste motor na figura abaixo.

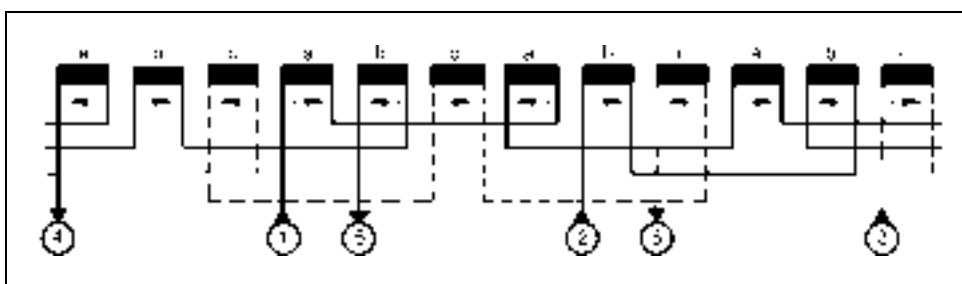


Este esquema é completo. Ele apresenta as ligações e as cabeceiras das bobinas. Ele apresenta as ligações e as cabeceiras das bobinas. A 2ª fase está ligada após o 2º pólo da 1ª fase. A 3ª fase está ligada após o 2º pólo da 2ª fase. Ligam-se as fases desta maneira para se obter uma melhor distribuição dos terminais de entrada e saída. Isto não prejudica a formação dos pólos do mesmo tipo, defasados entre si de 120° entre as três fases.

Esquema simplificado

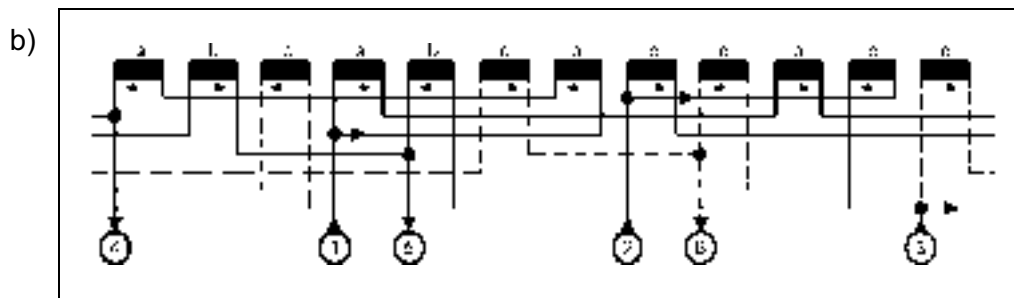
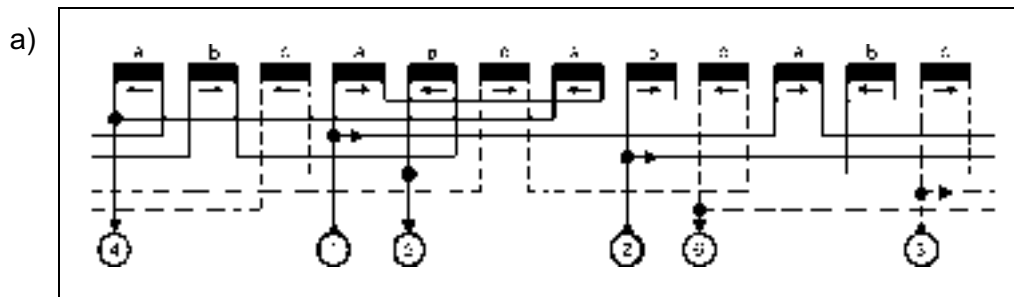
O esquema simplificado evita o traçado completo de várias bobinas por pólo e sua distribuição nas ranhuras. Representam-se os grupos, ou seja, bobinas por pólos e fases, por meio de traços grossos. Desses traços grossos é que partem as ligações. Vamos agora observar os esquemas simplificados a seguir.

Motor trifásico de 4 pólos com enrolamento de fio singular em paralelo



Motor trifásico de 4 pólos com ligação em dois paralelos.

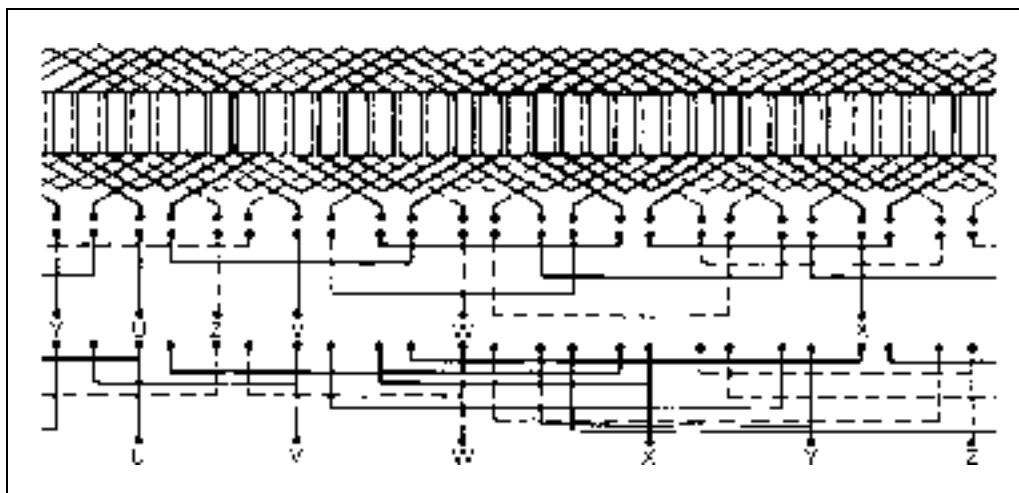
Vamos apresentar, neste caso, duas possibilidades:



Neste caso liga-se, primeiramente, um circuito com pólos cuja corrente siga da esquerda para a direita. Em seguida liga-se um circuito, com pólos cuja corrente siga da direita para a esquerda. Finalmente, ligam-se estes dois circuitos em paralelo na mesma fase e obtém-se o esquema da última figura acima.

Esquema completo

É o esquema que apresenta todos os detalhes das ligações. É um esquema que, na prática de oficina, é demorado para traçar. Entretanto, é o esquema que dá uma visão total do enrolamento. Veja na figura o esquema de um motor trifásico de 36 ranhuras e com o passo de bobina reduzido de 7 para 6.



Note que o esquema é representado com ligação singela de 6 terminais e também com ligação com 2 paralelos e 6 terminais.

Conclusão

Os cálculos e figuras apresentados neste capítulo permitem abordarmos os esquemas de quaisquer enrolamentos que necessitarmos fazer.

Deve-se tomar cuidado ao se desenhar o esquema, pois o número de circuitos em paralelo depende da corrente e a combinação das pontas depende da tensão do circuito. O esquema deve, também, satisfazer às leis de magnetização do circuito.

A tensão no circuito pode ser de 220V ou 380V se a ligação for do tipo **estrela-triângulo**. A tensão no circuito também pode ser de 220V se a ligação for do tipo **duplo triângulo** ou de 440V se a ligação for do tipo **trinângulo com ligação em série**. Há, ainda, outras tensões e combinações de ponta que podem ser aplicadas.

Montar enrolamento imbricado

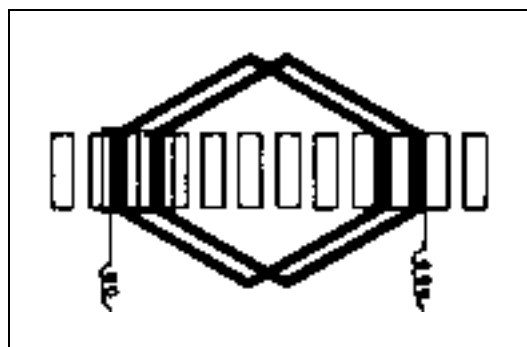
1. Coloque, voltado para você, o lado do motor no qual deverão ser feitas as ligações.
2. Segure a primeira bobina com as pontas voltadas para você.
3. Espalme os fios do lado direito, deslizando-os entre os dedos polegar e indicador.
4. Coloque fio a fio dentro da ranhura, não deixando nenhum entre o isolamento e o núcleo.



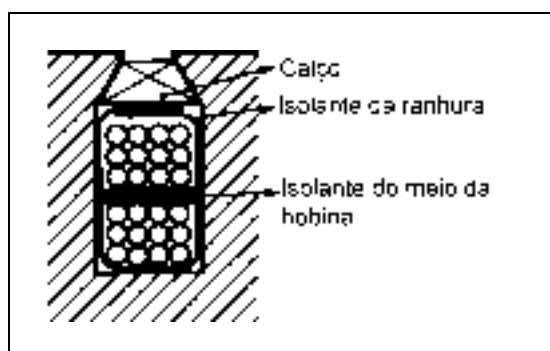
5. Deixe o lado esquerdo da bobina suspenso.



6. Continue o enrolamento no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.
7. Encaixe um lado da bobina em cada ranhura vizinha.
8. Faça espirais com as pontas soltas.



9. Deixe levantados os lados esquerdos de $Y_b - 1$ bobinas.
10. Corte uma quantidade de tiras de papel isolante igual à quantidade de ranhuras. As tiras devem ser de papel isolante de 0,20 ou 0,25mm. Cada tira deve ter comprimento 2cm maior que o comprimento da ranhura. A largura de cada tira deve ser 6mm maior que a largura da ranhura. As tiras de papel isolante são chamadas **telhas**.
11. Continue o enrolamento no sentido contrário dos ponteiros do relógio.
12. Encaixe na primeira ranhura vaga o lado direito da próxima bobina.
13. Conte o passo no mesmo sentido dos ponteiros do relógio.
14. Coloque uma tira de papel isolante sobre a bobina já existente como mostra a figura a seguir.



Observação

A colocação do isolante é necessária porque em cada ranhura há dois lados de bobinas de fases diversas. Isto ocasiona uma diferença de potencial relativamente elevada. Se não isolarmos o lado de baixo do lado de cima das bobinas, a diferença de potencial pode ocasionar um curto entre as fases.

15. Aloje o lado esquerdo da bobina já isolada até que todas as outras sejam colocadas.

Observação

Ao terminar de colocar o 2º lado da ranhura, coloque uma **telha** para acabamento.



Esta **telha** deverá ter uma medida tal que sobre 0,5cm de cada lado.

16. Encaixe os lados das bobinas que ficaram suspensas como mostra a figura abaixo.



17. Ajuste todo o bobinado, aplicando pancadas com um martelo de plástico.

Observação

Amorteça as batidas com madeira mole.

18. De acabamento uniforme as laterais.



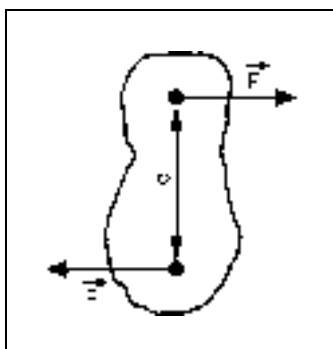
19. Dê o acabamento final, fazendo as ligações de acordo com o diagrama.

20. Faça a montagem do rotor com as tampas.

Conjugado de um motor

Para você compreender o que é **conjugado**, vamos, antes, recordar o que é **binário**.

Chama-se **binário** a um conjunto de duas forças de mesmo valor, mesma direção, sentidos contrários e não situadas numa mesma reta. Observe o **binário** da figura abaixo.



A distância entre as forças chama-se **braço** e é representada pela letra **d**. O valor de cada uma das forças é representada pela letra **F**. A ação das duas forças provoca um movimento de **rotação**.

Conjugado de um **binário** é o produto do valor da força pelo valor da distância. O conjugado é também chamado **torque** ou **momento**. O nome **conjugado** é o adotado pela ABNT. A fórmula do conjugado é: **conjugado = força . distância**.

Observando a fórmula (**conjugado = força . distância**) podemos afirmar que a unidade de medida do conjugado é igual ao produto de uma unidade de medida de força por uma unidade de medida de distância.

Temos, então:

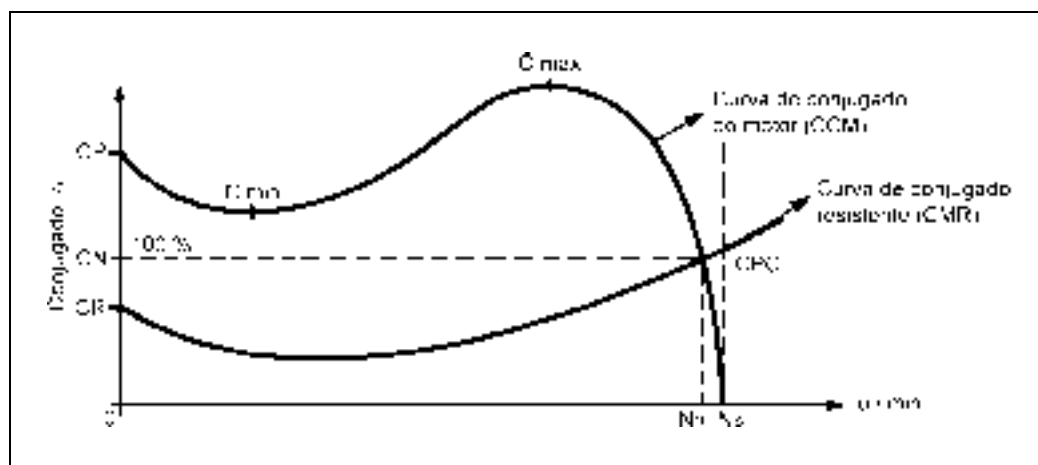
- Unidade de medida de força : quilograma-força ou **N**;
- Unidade de medida de distância : metro ou **m**.

Portanto, a unidade de medida de conjugado é **N . m**.

Conjugado de um motor

É o conjugado do binário do eixo do rotor. Este conjugado não é constante desde a partida até a velocidade nominal.

Para analisarmos a variação do conjugado utilizamos um gráfico, conhecido pelo nome de **curva do conjugado**. Cada motor tem sua curva típica de conjugado. O conjugado varia com a potência, com a quantidade de pólos e, mesmo em motores iguais, pode variar de fabricante para fabricante. Veja agora a **curva do conjugado** abaixo.



Vamos interpretar o gráfico acima.

- **CN** significa conjugado nominal. O conjugado nominal é o valor do conjugado quando o motor está trabalhando com velocidade de plena carga e potência de plena carga. Por este motivo, o conjugado nominal também é chamado de conjugado de plena carga.

Todos os valores de conjugados são registrados em porcentagens. Essas porcentagens são calculadas em relação ao conjugado nominal, que vale sempre 100%.

- **CP** significa conjugado de partida do motor, também chamado de conjugado com rotor bloqueado.

- **CR** significa conjugado resistente de partida, também chamado de conjugado resistente de carga.
- **C_{min}** significa conjugado mínimo. Os limites mínimos de conjugados devem respeitar os valores estabelecidos pela ABNT.
- **C_{máx}** significa conjugado máximo.
- **CPC** significa conjugado a plena carga. O **CPC** coincide com o conjugado máximo resistente.
- **N_s** significa rotação síncrona.
- **N_n** significa rotação nominal, também chamada rotação a plena carga.

A curva do conjugado do motor sempre deve estar situada acima da curva de conjugado resistente. Isto para garantir a partida e a aceleração do motor até atingir a velocidade nominal.

Existem normas que estabelecem valores para os conjugados. Por exemplo, a Norma ABNT - EB-120 especifica, para os conjugados, valores que variam de acordo com a potência e a quantidade de pólos. Assim, num motor de 10cv e 4 pólos, o conjugado nominal é de 41Nm. Este valor é considerado como 100% na curva de conjugados.

A norma ABNT só estabelece valores mínimos. Os valores máximos variam de acordo com o fabricante. Geralmente, quanto mais alta for a curva do conjugado, melhor será o motor. A maioria dos fabricantes especifica os valores dos conjugados em seus catálogos.

Vamos agora examinar um exemplo de valores de conjugados.

Um motor tem o conjugado de partida de 160% e o conjugado máximo de 225%. Isto significa que, na partida do motor, o conjugado é, pelo menos, 60% maior que o conjugado nominal. Por outro lado, o conjugado máximo é, pelo menos, 125% maior que o conjugado nominal. Veja no gráfico a seguir a representação desses valores.

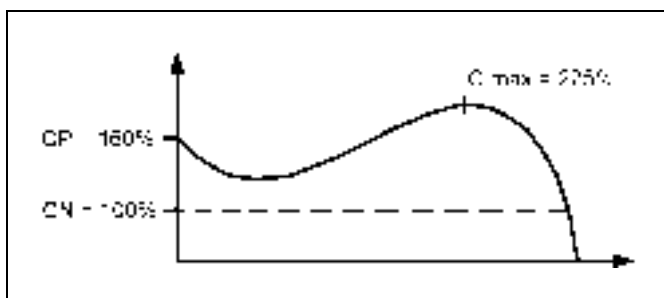


Tabela de desempenho para variação da tensão

A tabela abaixo apresenta a variação, em porcentagem, de vários elementos que caracterizam o desempenho de um motor. Esta variação é estabelecida de acordo com a variação da tensão em relação à tensão nominal.

Desempenho do motor	Tensão 20% acima da nominal	Tensão 10% acima da nominal	Tensão 10% abaixo da nominal
Conjugado de partida e conjugado máximo	Aumenta 44%	Aumenta 21%	Diminui 19%
Corrente de partida	Aumenta 25%	Aumenta 10 a 12%	Diminui 10 a 12%
Corrente de plena carga	Diminui 30%	Diminui 7%	Aumenta 11%
Velocidade síncrona	Não altera	Não altera	Não altera
Escorregamento	Diminui 30%	Diminui 17%	Aumenta 23%
Velocidade de plena carga	Aumenta 1,5%	Aumenta 1%	Diminui 1,5%
Rendimento	Pequeno aumento	Aumenta 1%	Diminui 2%
Fator de potência	Diminui 5 a 15%	Diminui 3%	Aumenta 1%
Sobreaquecimento	Diminui 5°C	Diminui 3°C	Aumenta 6°C
Ruído magnético sem carga	Aumento perceptível	Ligeiro aumento	Ligeira diminuição

Vamos agora interpretar alguns elementos desta tabela.

Todos os valores de variação de desempenho são válidos para motores trabalhando a plena carga. A única exceção é para o ruído magnético.

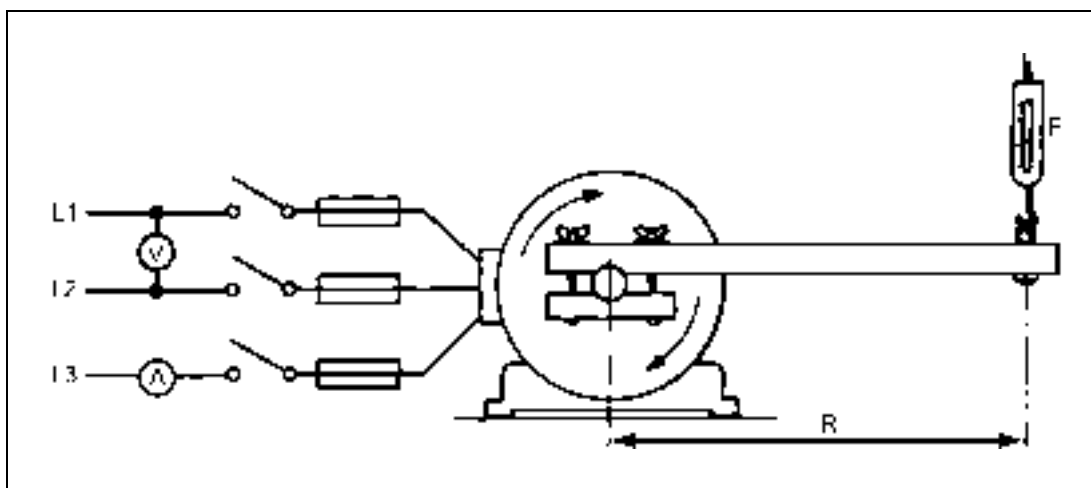
Observe que quando a tensão da rede está acima da tensão nominal, há um aumento do conjugado e da corrente de partida. Isto pode ocasionar a queima de fusível ou acionar sistemas de proteção ao circuito. Se a tensão da rede for menor que a nominal, haverá uma diminuição do conjugado e também da potência.

Observe agora o caso em que a tensão é 10% menor que a nominal. A corrente de plena carga, após o motor ter partido, aumenta 11%. Isto pode provocar um aquecimento maior no motor. Este aquecimento não se dá por aumento de carga, mas porque o conjugado de partida é menor e, portanto, terá mais dificuldade para vencer o conjugado resistente.

Finalizando, sempre devemos lembrar que para o motor funcionar bem é preciso que trabalhe sob tensão nominal.

Freio de Prony

O freio de Prony é um dispositivo que deve ser adaptado ao eixo de um motor com a finalidade de carregar o motor mecanicamente. Observe o freio de Prony na figura abaixo.



Vamos analisar a figura. O valor da força F é lido diretamente no dinamômetro, em N. A distância r chama-se braço da alavanca e é medida em m.

Com os valores de F , r e da rpm do motor, podemos calcular o conjugado do binário do eixo e a potência do motor.

Observe, também, que há um voltímetro e um amperímetro no circuito de ligação do motor. A leitura desses instrumentos é importante porque a experiência deve ser feita com tensões e correntes normais.

O motor é ligado à rede elétrica, gira a plena rotação e em sentido horário.

A embreagem é de madeira e tem o formato de sapata. Ela freia o motor através de um polia montada na ponta do eixo.

O esforço do eixo do motor é transmitido através do braço de alavanca e provoca a indicação de uma força F no dinamômetro.

Observe, na extremidade esquerda da alavanca, dois parafusos. Eles servem para controlar a pressão da sapata sobre o eixo. Isto permite carregar mecanicamente o motor.

Observação

Há vários tipos de freios Prony. As maneiras de se aplicar a frenagem também variam. Portanto, você pode encontrar diferentes tipos de freios de Prony, mas o princípio de funcionamento de todos eles é o mesmo.

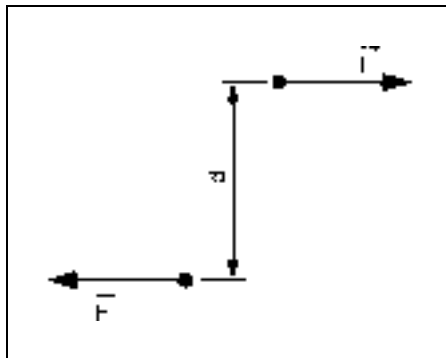
Desenvolvimento teórico

Para efetuarmos os cálculos necessários, precisamos conhecer vários conceitos teóricos e fórmulas, que serão vistas a seguir.

Conjugado de um binário

Este conceito você já estudou, mas vamos repeti-lo.

Observe a figura e a fórmula correspondente:



Conjugado = força . distância

ou, abreviadamente,

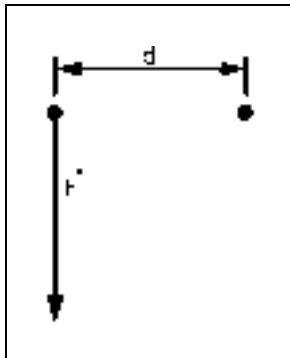
$$C = F \cdot d$$

A distância d chama-se **braço**.

A unidade de medida do **conjugado** é $N \cdot m$.

Momento de uma força em relação a um ponto

É o produto do valor da força pela distância entre um ponto e a direção da força. Observe a figura.



A fórmula do momento de uma força é:

momento = força . distância

ou, abreviadamente,

$$M = F \cdot d$$

A distância d chama-se braço. A unidade de medida é N . m.

Trabalho de uma força: a fórmula de trabalho é:

trabalho = força . deslocamento

ou, abreviadamente,

$$T = F \cdot d$$

A unidade de medida de trabalho é também N . m. Entretanto, no caso do trabalho, recebe o nome especial de **quilogrametro**. O símbolo do quilogrametro é **kgm**.

Potência

A fórmula de potência é:

$$\text{potência} = \frac{\text{trabalho}}{\text{tempo}}$$

A forma abreviada da fórmula de potência é:

$$P = \frac{T}{t}$$

A unidade de medida de potência é:

$$\frac{\text{quilogrammetro}}{\text{segundo}}$$

O símbolo utilizado é $\frac{\text{kgm}}{\text{s}}$

Transformação de unidades

A potência dos motores elétricos é dada nas unidades de medida **cavalo-vapor** ou **cavalo-força**. O símbolo de cavalo-vapor é **cv** e o de cavalo-força é **HP**.

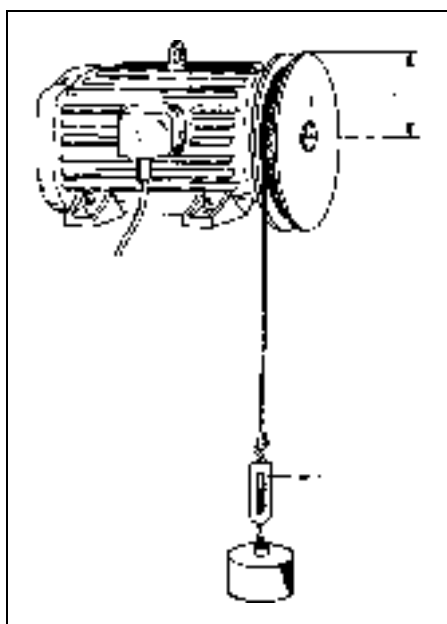
Um **cv** é a potência necessária para elevar um peso de 75kg à altura de 1m num intervalo de tempo de 1s. De acordo com esta definição, $1\text{cv} = 75 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$.

Um **HP** é a potência necessária para elevar um peso de 75,6kg à altura de 1m num intervalo de tempo de 1s. De acordo com esta definição, $1\text{HP} = 75,6 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$.

Para transformar unidades de tempo, usaremos a relação $1\text{min} = 60\text{s}$

Cálculo da potência no eixo do motor

Observe na figura abaixo um exemplo de um motor levantando um peso.



O valor da força lida no dinamômetro é indicado pela letra **F**. O valor do raio da polia é indicado pela letra **r**. Observe, a seguir, a dedução de uma fórmula para o cálculo da potência.

Fórmula da potência Fórmula do trabalho

$$P = \frac{T}{t} \qquad T = F \cdot d$$

Substituindo a fórmula do trabalho na fórmula da potência obtemos:

$$P = \frac{F \cdot d}{t}$$

O movimento é circular e o deslocamento é igual ao comprimento da circunferência. Portanto, temos:

- Deslocamento em **uma** volta: $2 \cdot \pi \cdot r$;
- Deslocamento em um número **n** de voltas: $2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$.

Vamos agora substituir o deslocamento **d** pela expressão $2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$.

Veja:

$$p = \frac{F \cdot d}{t}$$

$$d = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$$

$$\text{Portanto, } p = \frac{F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{t}$$

Vamos agora examinar as unidades de medida na fórmula. No numerador temos **n**, que é o número de rotações. No denominador, o tempo **t** está em segundos. Mas o tacômetro adaptado ao motor fornece a velocidade angular em **rpm**.

Isto significa que, na fórmula anterior, a razão $\frac{n}{t}$ deve ser transformada para podermos fazer a substituição. Acompanhe as passagens abaixo.

$$\text{rpm} = \frac{\text{número de rotações}}{\text{tempo em min}} = \frac{n}{t} = \frac{n}{1\text{min}} = \frac{n}{60\text{s}}$$

Portanto, a fórmula ficará dividida por 60s.

$$p = \frac{F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{60 \text{ s}}$$

Observe agora os outros elementos da fórmula.

A força **F**, no numerador, é medida em N. O raio **r**, no numerador, é medida em **m**. O tempo, no denominador, está em **s**. Portanto, temos:

$$\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$$

Mas como já vimos, $1\text{cv} = 75 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$.

$$\text{Logo, } \frac{1\text{kgm}}{\text{s}} = \frac{1\text{cv}}{75}$$

Concluimos que a fórmula deve ser dividida por 75. A potência vai ser calculada em cavalos-vapor.

Para a potência calculada um **cv** vamos utilizar o símbolo **P_{cv}**.

$$P_{\text{cv}} = \frac{F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{75 \cdot 60}$$

No numerador temos uma multiplicação de vários fatores. A ordem dos fatores não altera o produto. Por isso, vamos reescrever a fórmula acima na forma mais usual:

$$P_{\text{cv}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot F}{75 \cdot 60}$$

Se quisermos calcular a potência em **HP**, aplicamos o mesmo raciocínio, lembrando apenas que $1\text{HP} = 75,6 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}$.

Observe como ficará a fórmula:

$$P_{\text{HP}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot F}{75,6 \cdot 60}$$

Cálculo do conjugado do binário do eixo

O princípio fundamental do freio de Prony é que o momento da força indicada no dinamômetro em relação ao eixo é igual ao conjugado do binário do eixo. Portanto, o conjugado do binário do eixo é calculado pela fórmula abaixo.

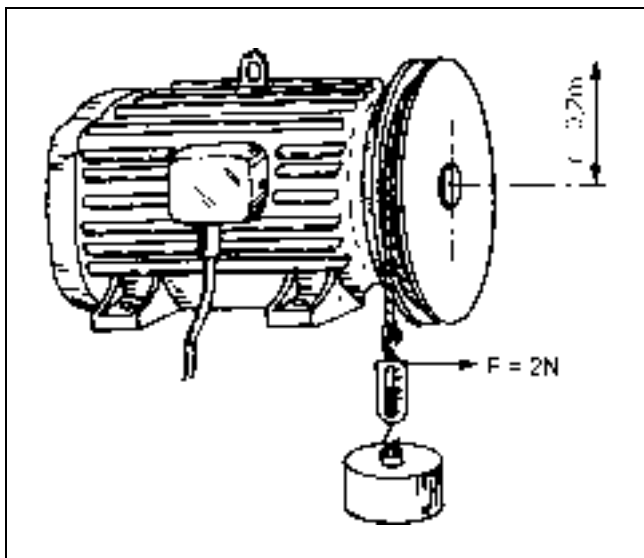
$$C = F \cdot r$$

Na fórmula acima, a unidade de medida de **F** é **N** e a de **r** é **m**. Portanto, a unidade de medida do conjugado do binário do eixo é **N . m**.

Vamos agora resolver um exemplo de aplicação das fórmulas da potência e do conjugado.

Exemplo

Observe na figura abaixo um modelo de freio de Prony. A força **F** indicada no dinamômetro vale 2N. A medida do raio **r** é 0,2m. A velocidade angular do motor é de 1.770rpm.



Vamos calcular a potência em **cv**.

A fórmula é:

$$P_{cv} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot F}{75 \cdot 60}$$

Substituindo os valores temos:

$$P_{cv} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 1770 \cdot 2}{75 \cdot 60}$$

Efetuando as multiplicações no numerador e no denominador temos:

$$P_{cv} = \frac{4\,446,2}{4\,500}$$

Efetuando a divisão obtemos:

$$P_{cv} = 0,998 \text{ ou } P_{cv} \cong 1cv$$

Agora vamos calcular o conjugado do binário do eixo. A fórmula é:

$$C = F \cdot r$$

Substituindo os valores, temos:

$$C = 0,2 \cdot 2$$

$$\text{Portanto } C = 0,4N \cdot m$$

7

Bobinagem de motor trifásico imbricado

Resumo para execução

1. Desmonte a máquina giratória.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Desmontar máquina giratória.	<ul style="list-style-type: none"> • Extrator para polia; • Martelo de bola; • Talhadeira; • Jogo de chave de boca fixa; • Jogo de chave canhão; • Jogo de chave allen; • Saca-rolamento; • Tarugo de cobre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pincel; • Solvente para graxa; • Graxa para rolamento.

2. Faça o levantamento do esquema da máquina anotando os dados e desfaça o bobinado.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Desfazer bobinados de máquinas com núcleos ranhurados.	<ul style="list-style-type: none"> • Estufa; • Varetas metálicas; • Martelo; • Lâmina de serra; • Talhadeira; • Escala milimétrica; • Micrômetro/fieira AWG. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha apropriada; • Solvente para verniz.

3. Faça o isolamento dos canais.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Isolar rotor e estator.	<ul style="list-style-type: none"> • Tesoura plantiforme; • Tesoura comum; • Escala graduada; • Riscador; • Gabaritos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel isolante de 0,25mm; • Papel isolante de 0,50mm; • Fibra vermelha de 1/32'; • Barbante; • Cordonê.

4. Confeccione as bobinas.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Enrolar bobinas para motores.	<ul style="list-style-type: none"> • Bobinadeira manual com contagiros; • Moldes para bobinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fio magnético; • Cordonê.

5. Monte as bobinas nos canais.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Montar enrolamentos tipo imbricado.	<ul style="list-style-type: none"> • Espátula de fibra; • Acamador; • Martelo com pancada de plástico; • Sarrafo de madeira macia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel isolante de 0,50mm.

6. Faça as conexões internas.

Operação	Ferramentas/instrumentos
Ligar inteiramente motor trifásico.	<ul style="list-style-type: none"> • Ferro de soldar 120W; • Alicata universal; • Canivete.

7. Arremate o bobinado.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Arrematar bobinado de estator	<ul style="list-style-type: none"> • Ferro de soldar 120W; • Alicata universal; • Canivete. 	<ul style="list-style-type: none"> • Espaguete de linho de 2mm a 4mm; • Estanho; • Cadarço de algodão de 2/4'; • Papel isolante de 0,20mm.

8. Faça o teste de curto-circuito entre espiras e resistência de isolamento.

Operação	Ferramentas/instrumentos
Testar massa e curto-circuito	<ul style="list-style-type: none"> • Eletroímã de dimensões apropriadas (tatu); • Megôhmetro.

9. Monte o motor.

Operação	Ferramentas/instrumentos	Materiais
Montar motor elétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Martelo de bola; • Tarugo de cobre ou latão; • Jogos de chave de boca fixa, canhão ou allen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Graxa para isolamento; • Solvente para graxa.

Motores com freio de Prony

O freio de Prony é uma máquina que tem a finalidade de carregar motores mecanicamente. Como já vimos, através dele também podemos efetuar os cálculos do momento do binário do eixo e da potência. O freio de Prony ainda serve para se efetuarem alguns ensaios elétricos e mecânicos de curta duração.

A frenagem é obtida em consequência das correntes de Foucault, também chamadas de correntes parasitas. Essas correntes são criadas em um disco de alumínio ou cobre, que gira entre os pólos de eletroímãs. A alimentação dos eletroímãs é obtida através da retificação da corrente alternada, fornecida por um varivolt monofásico de tensão 110V, para corrente contínua de valor variável. O maior ou menor poder de frenagem depende da intensidade do campo magnético dos eletroímãs.

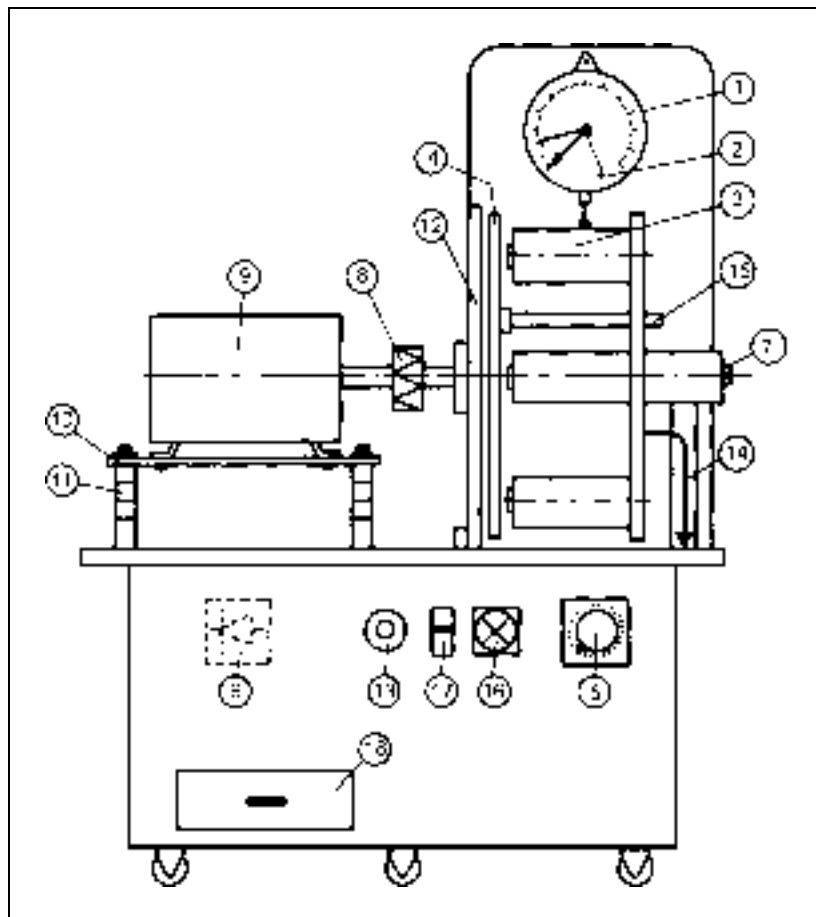
O freio de Prony que vai ser usado na oficina tem alguns valores característicos, apresentados abaixo:

- Velocidade angular: 1.800rpm;
- Conjugado máximo: 5N . m;
- Raio: 0,2m.

O procedimento para se utilizar o freio de Prony pode ser resumido nas operações abaixo.

Através do varivolt, aumenta-se suavemente a tensão nas bobinas dos eletroímãs. Isto vai aumentar o poder de frenagem. Através de um dinamômetro, colocado adequadamente na máquina, lê-se o valor da força em N. Em seguida, aplicam-se as fórmulas e calcula-se a potência do motor em **cv** ou em **HP**.

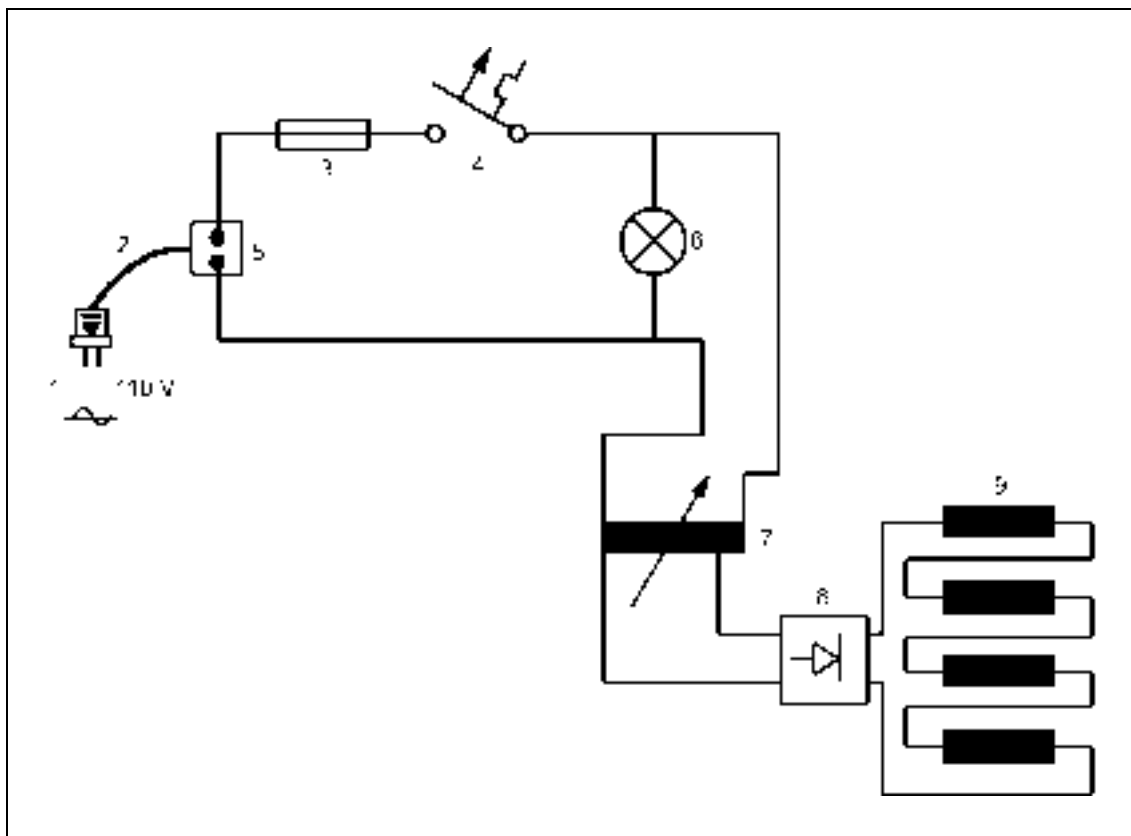
Vamos agora examinar dois esquemas sobre o freio de Prony. Esses esquemas ajudarão você a entender melhor o funcionamento da máquina. Veja na figura abaixo a **vista lateral** do freio de Prony.



Cada número da figura identifica uma peça do conjunto. Veja agora o número de cada peça e o nome correspondente:

- | | |
|--|--|
| 1. Dinamômetro, com leituras do 0N a 10N; | 11. Calços para o ajuste da mesa; |
| 2. Controle do ponteiro de arrasto do dinamômetro; | 12. Indicador do sentido de rotação; |
| 3. Conjunto semimóvel com eletroímãs; | 13. Fusível de proteção; |
| 4. Disco rotativo de alumínio; | 14. Indicador de limites mecânicos para proteção; |
| 5. Controle de tensão do varivolt; | 15. Trava do disco rotativo; |
| 6. Retificador de CA para CC ; | 16. Sinaleira quadrada para indicar se o freio está ou não ligado; |
| 7. Ponto de medição de rpm; | 17. Disjuntor eletromagnético; |
| 8. Flange de acoplamento; | 18. Gaveta para acessórios. |
| 9. Motor em teste; | |
| 10. Mesa para a fixação dos motores; | |

Veja agora o esquema do **circuito elétrico** deste freio de Prony.



Acompanhe o número de cada peça e o nome correspondente.

1. Plugue de pino chato;
2. Cabo PB de dimensões 2 x 14;
3. Fusível diazed para 10A;
4. Disjuntor eletromagnético;
5. Base de ligação;
6. Sinaleira quadrada vermelha para indicar se o circuito está ou não ligado;
7. Varivolt monofásico de tensão 110V para CA;
8. Ponte retificadora;
9. Bobinas

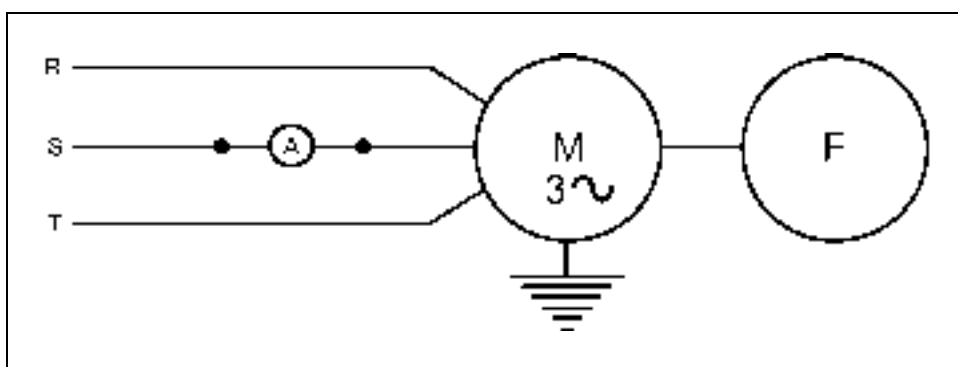
Vamos agora estabelecer as operações que você deve seguir para realizar a experiência com o freio de Prony.

Fixar e acoplar o motor ao freio de Prony

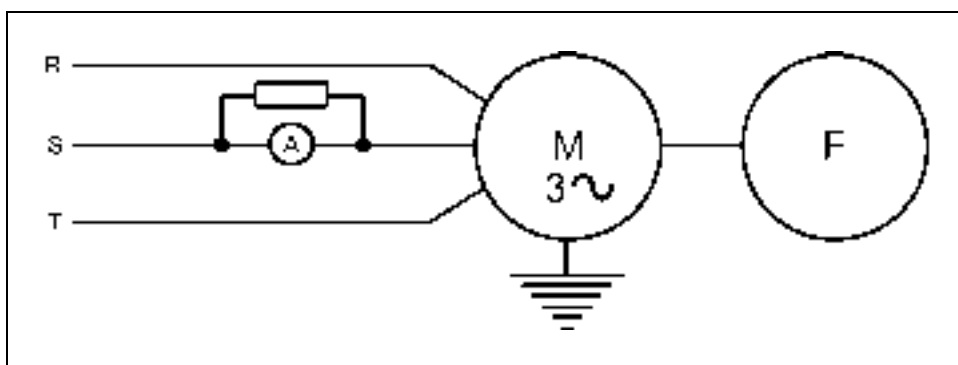
1. Verifique se o motor está em condições elétricas e mecânicas para ser ensaiado.
2. Nivele o eixo do motor com o eixo do freio, utilizando, para isso, os calços.
3. Acople os eixos através da junção flange.
4. Trave os eixos com os parafusos apropriados.
5. Fixe o motor na mesa do freio.
6. Aperte alternadamente as porcas.
7. Verifique se o conjunto formado pelo freio e motor está girando livremente.
8. Faça novos ajustes, se necessário.
9. Coloque o ponteiro de arrasto do dinamômetro no valor zero.
10. Coloque o controle de tensão do varivolt no valor zero.

Testar conjugado nominal

1. Monte o circuito da figura abaixo.



2. Instale o shunt nos terminais do amperímetro.



3. Ligue o motor na sua tensão nominal.
4. Desligue o motor.
5. Observe se o sentido de rotação está correto. Se necessário, acerte-o.
6. Ligue o motor.
7. Retire o shunt do amperímetro.

8. Ligue o circuito do freio.
9. Aumente a tensão do varivolt lentamente até que a corrente do motor atinja seu valor nominal.
10. Anote as medidas elétricas.
11. Meça com tacômetro a rpm do motor.
12. Anote o valor medido da rpm.
13. Retire lentamente a carga do motor.
14. Desligue o freio.
15. Desligue o motor.
16. Anote o valor da força, em N, indicado pelo ponteiro de arrasto do dinamômetro.
17. Calcule a potência no eixo do motor, aplicando uma das fórmulas abaixo:

$$P_{cv} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot F}{75 \cdot 60} \text{ se você quiser o valor da potência em cv, ou}$$

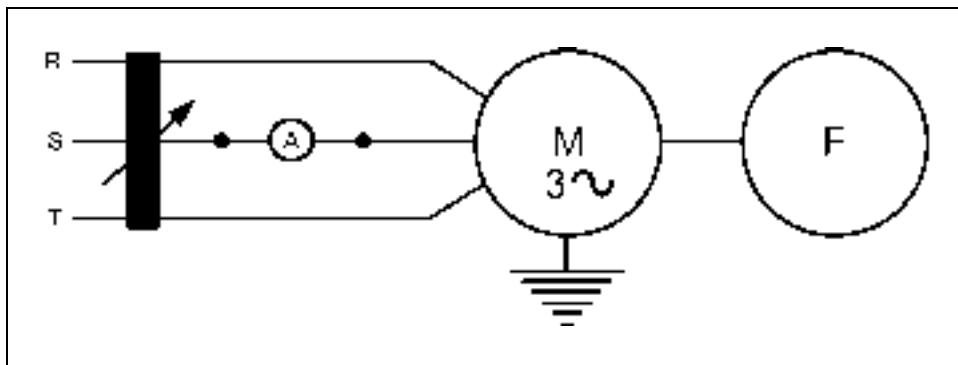
$$P_{HP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot f}{75,6 \cdot 60} \text{ se você quiser o valor da potência em HP.}$$

Observações

- O disco de alumínio se aquecerá devido às correntes parasitais;
- Os valores nominais do motor em teste não deverão ser ultrapassados.

Testar rotor travado

1. Acople o disco de alumínio ao disco de eletroímãs com o auxílio do trava-disco rotativo.
2. Coloque o ponteiro de arrasto do dinamômetro no valor zero.
3. Ligue o motor a um varivolt trifásico.



4. Aplique alguns volts.
5. Verifique se o sentido de rotação está correto. Se necessário, acerte-o.
6. Aumente a tensão do varivolt trifásico lentamente, até a corrente do motor atingir o valor nominal.
7. Abaixar o valor do varivolt trifásico até zero e desligue-o.
8. Anote o valor da força, em N, indicado pelo ponteiro de arrasto do dinamômetro.
9. Retire o trava-disco rotativo.
10. Calcule o valor do conjugado de partida **CP**, aplicando a fórmula ($CP = F \cdot r$).

Observações

- É necessário ter um conjunto de acoplamento flange para cada tipo de motor a ser testado.
- Com este freio poderão ser feitos outros ensaios de motores recomendados pela ABNT.

Ensaiar motor trifásico com carga

1. Escolha um dos diagramas apresentados na FT-06, folha 2/2, para você ensaiar.
2. Acople mecanicamente o motor ao freio.
3. Verifique se o conjunto formado por motor e freio está em condições de ser ensaiado.
4. Execute as ligações conforme o diagrama que você escolheu.
5. Instale um shunt nos terminais do amperímetro.
6. Instale shunts nos terminais das partes amperométricas dos wattímetros.
7. Confira as ligações de acordo com o diagrama escolhido.
8. Ligue o motor.
9. Desligue o motor.
10. Verifique se o sentido de rotação está de acordo com o do freio. Se necessário, corrija-o.
11. Ligue o motor.
12. Retire o shunt do amperímetro.
13. Carregue lentamente o motor até que a corrente atinja o seu valor nominal.
14. Retire os shunts dos wattímetros.
15. Anote os valores indicados nos seguintes instrumentos:
 - Amperímetro;
 - Wattímetro 1;
 - Wattímetro 2;
 - Dinamômetro;
 - Tacômetro;
 - Voltímetro.
16. Retire lentamente a carga do motor.
17. Calcule 25%, 50%, 75% e 125% do valor da força lida no dinamômetro.
18. Repita os passos de **5** a **16** para cada um dos valores de carga obtidos no item anterior.

19. Desligue os circuitos.

20. Faça os cálculos dos seguintes elementos:

- potência mecânica;
- conjugado do binário do eixo;
- potência aparente total absorvida;
- potência real total;
- rotação síncrona;
- deslizamento;
- rendimento.

21. Faça o gráfico da rotação síncrona em função da potência mecânica.

22. Faça o gráfico do rendimento em função da potência mecânica.

23. Faça o gráfico do fator de potência em função da potência mecânica.

24. Faça o gráfico do conjugado em função da potência mecânica.

Cálculos

Vamos agora desenvolver os cálculos necessários em um ensaio de motor trifásico com carga, de 6 pólos, potência de 1cv e frequência de 60Hz.

O valor do raio no freio de Prony é de 0,2m.

Vamos supor que os valores medido nos instrumentos sejam os seguintes:

- Amperímetro 2,7A;
- Wattímetro 1 400W;
- Wattímetro 2 460W;
- Dinamômetro 3,1N;
- Tacômetro 1.170rpm;
- Voltímetro 220V

A seguir, apresentaremos as fórmulas a serem utilizadas e suas aplicações com os valores medidos.

Potência mecânica fornecida pelo motor no eixo

Vamos resolver este exemplo calculando a potência em cv.

$$P_{cv} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot F}{60 \cdot 75}$$

$$P_{cv} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 1770 \cdot 3,1}{60 \cdot 75}$$

Efetando todos os cálculos, obtemos: $P_{cv} \cong 1cv$

Conjugado do binário do eixo

$$C = F \cdot r$$

$$C = 3,1 \cdot 0,2$$

$$C = 0,62\text{N} \cdot \text{m}$$

Potência aparente total absorvida pelo motor

Nas duas fórmulas: (potência aparente = 3 . tensão de fase . corrente da fase) ou (potência aparente = tensão da linha . corrente da linha . $\sqrt{3}$).

Vamos aplicar a segunda fórmula, escrita de forma abreviada.

$$P_a = EL \cdot I_l \cdot \sqrt{3}$$

$$P_a = 220 \cdot 2,7 \cdot 1,73$$

$$P_a \cong 1030 \text{ VA}$$

Potência real absorvida pelo motor

Vamos utilizar o símbolo W_1 para a leitura do wattímetro 1 e W_2 para a leitura do wattímetro 2.

Para a potência real usaremos o símbolo W_{30} . As fórmulas são as seguintes:

($W_{30} = W_1 + W_2$, se o fator de potência for maior que 0,5) ou ($W_{30} = W_1 - W_2$, se o fator de potência for menor que 0,5).

No presente caso, vamos utilizar a 1ª fórmula.

$$W_{30} = W_1 + W_2$$

$$W_{30} = 400 + 460$$

$$W_{30} = 860\text{W}$$

Fator de potência do motor

Fator de potência = $\frac{\text{potência real}}{\text{potência aparente}}$ ou, de forma abreviada, $\cos \varphi = \frac{W_{30}}{P_a}$.

Aplicando os valores temos:

$$\cos \varphi = \frac{860}{1030} \quad \cos \varphi = 0,834$$

Geralmente utilizamos o fator de potência em porcentagem. Neste caso o símbolo será $\cos\varphi\%$ e o valor deverá ser multiplicado por 100%.

$$\cos\varphi\% = 0,834 \cdot 100\%$$

$$\cos\varphi\% = 83,4\%$$

Rotação do campo magnético

Esta rotação deve ser considerada à velocidade de sincronismo. Neste caso, recebe o nome de rotação síncrona.

$$\text{A fórmula é: rotação síncrona} = \frac{60 \cdot \text{freqüência}}{\text{pares de pólo}}$$

Observe agora a fórmula escrita de forma abreviada:

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Aplicando os valores, temos:

$$N_s = \frac{60 \cdot 60}{3}$$

$$N_s = 1200\text{rpm}$$

Deslizamento

O deslizamento é também chamado de escorregamento. Seu valor é dado em porcentagem. A fórmula é:

$$\text{deslizamento} = \frac{\text{rotação síncrona} - \text{rotação medida}}{\text{rotação síncrona}} \cdot 100\% \text{ ou de forma abreviada,}$$

$$S = \frac{N_s - N_{\text{medida}}}{N_s} \cdot 100\%$$

Aplicando os valores, temos:

$$S = \frac{1200 - 1170}{1200} \cdot 100\%$$

$$S = 2,5\%$$

Observação

O valor do deslizamento deve ser menor ou igual a 5%. Entretanto, apenas nos motores assíncronos este valor chega a 5%.

Rendimento

O rendimento é dado em porcentagem.

A fórmula é: rendimento = $\frac{\text{potência mecânica}}{\text{potência real total}} \cdot 736 \cdot 100\%$ ou de forma abreviada,

$$\mu = \frac{P \cdot 736}{W_{30}} \cdot 100\%$$

Como estamos trabalhando com potência em cv, a fórmula passa a : $\mu = \frac{P_{cv} \cdot 736}{W_{30}} \cdot 100\%$.

Substituindo os valores, temos:

$$\mu = \frac{1 \cdot 736}{860} \cdot 100\%$$

$$\mu = 85,5\%$$

Cálculos dos outros valores de cargas para ensaiar

O valor 3,1N medido no dinamômetro equivale a 100%. Devemos repetir a experiência com outras porcentagens deste valor. Veja a seguir o cálculo destas porcentagens.

$$25\% \text{ de } 3,1\text{N} = \frac{25 \cdot 3,1}{100} = 0,77\text{N}$$

$$50\% \text{ de } 3,1\text{N} = \frac{50 \cdot 3,1}{100} = 1,55\text{N}$$

$$75\% \text{ de } 3,1\text{N} = \frac{75 \cdot 3,1}{100} = 2,32\text{N}$$

$$125\% \text{ de } 3,1\text{N} = \frac{125 \cdot 3,1}{100} = 3,87\text{N}$$

Tabela

Vamos agora construir uma tabela com os valores medidos e os valores calculados. Os valores medidos e os valores calculados para o valor da força 3,1N foram explicados anteriormente. Os valores medidos e os valores calculados para os valores das forças 0,77N, 1,55N, 2,32N e 3,87N estão mostrados na tabela para o exemplo ficar completo. Quando você ensaiar o motor, deverá efetuar todos os cálculos necessários. Veja a tabela a seguir.

Carga %	Valores medidos				
	Força (N)	EL (V)	JL (A)	P (W)	N (rpm)
25	0,77	220	1,5	270	1195
50	1,55	220	1,76	470	1190
75	2,32	220	2,3	660	1180
100	3,1	220	2,7	860	1170
125	3,87	220	3,47	1060	1160

Carga %	Valores calculados				
	Pm (cv-HP)	M (N/m)	Pa (VA)	cos.φ %	μ %
25	0,25	0,154	560	48,2	68,1
50	0,51	0,31	670	70,1	79,7
75	0,76	0,464	850	77,3	84,7
100	1	0,62	1030	83,4	85,5
125	1,25	0,77	1320	80,5	86,7

Vamos agora, utilizando os valores da tabela, construir os gráficos indicados a seguir.

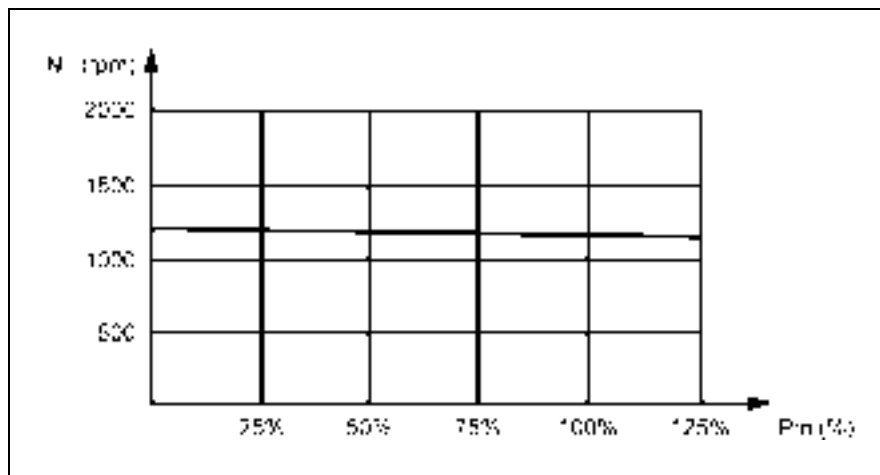


Gráfico da rotação síncrona em função da potência mecânica

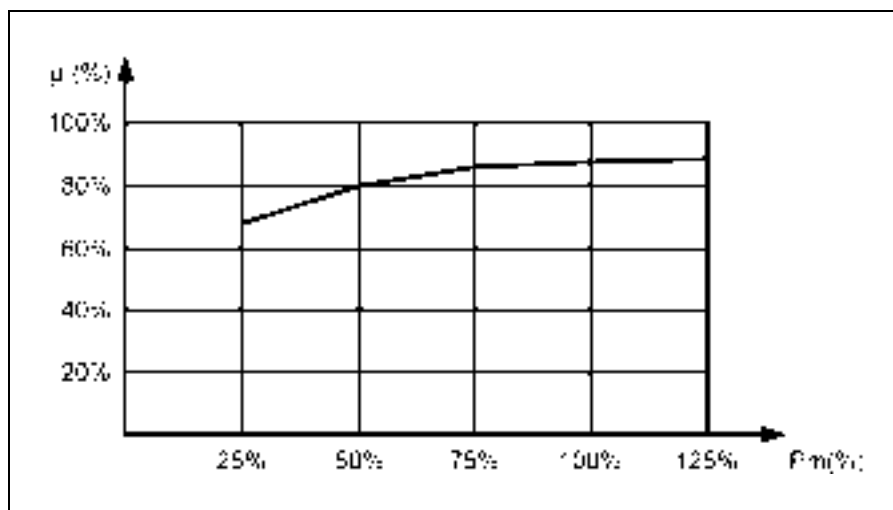


Gráfico de rendimento em função da potência mecânica

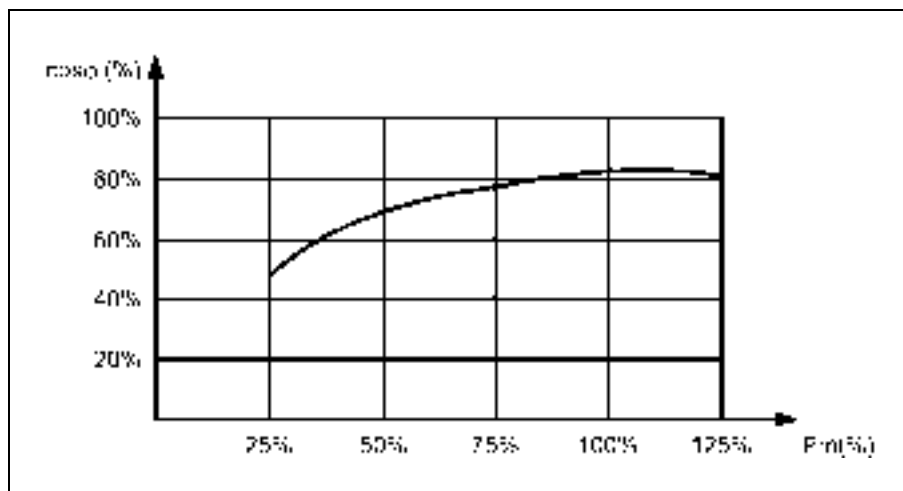


Gráfico do fator de potência em função da potência mecânica

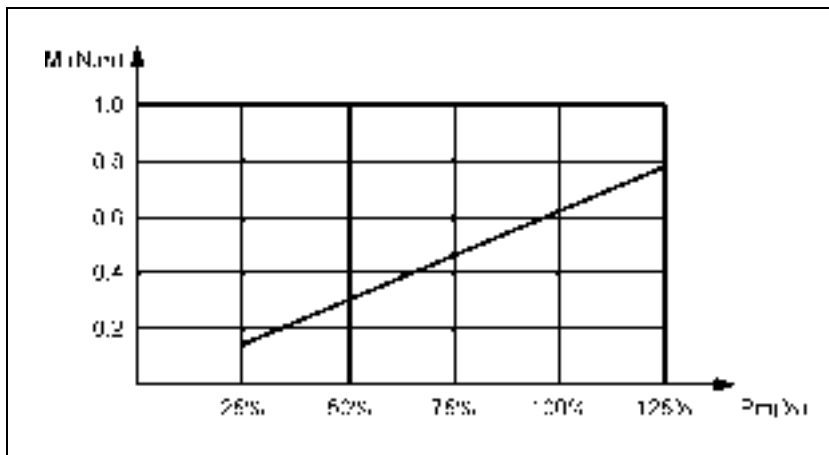


Gráfico do conjugado em função da potência mecânica

Observação

A escolha de um motor com potência muito superior àquela a ser utilizada apresenta três inconvenientes:

- Alto custo do motor;
- Baixo rendimento;
- Baixo fator de potência.

Motor trifásico imbricado com carga

1. Faça o teste de isolação.
2. Meça a resistência dos condutores do bobinado.
3. Faça o teste de funcionamento.
4. Acople o motor ao freio.
5. Monte o circuito conforme o diagrama.
6. Ligue e desligue para verificar o sentido de rotação. Inverta, se necessário.
7. Ligue e coloque carga até atingir a corrente nominal do motor.
8. Faça as leituras dos instrumentos e anote suas indicações.

Aparelhos

- Megôhmetro;
- Ponte de Wheatstone;
- Tacômetro;
- Voltímetro 0 - 250V;
- Amperímetro 0 - 5A
- 2 wattímetro de 0 - 1200W ou
- 1 wattímetro 3Ø - 1200W.

Equipamentos

- Cabinhos com pinos-banana nas pontas

Equipamentos

- Circuito trifásico de curto-circuito;
- Freio de Prony.

Motor trifásico com carga

Ensaio-Exercício

1. Complete a tabela abaixo com os valores das resistências de isolamento em **MΩ**.

Valores medidos

$$1 - \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

$$2 - \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

$$3 - \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

$$1 \text{ e } 2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

$$2 \text{ e } 3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

$$1, 2, 3 \text{ e } \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

Valores calculados

$$1, 2, 3 \text{ e } \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

Corrigida a temperatura de $\underline{\hspace{2cm}}$ °C

$$1, 2, 3 \text{ e } \frac{1}{2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ M}\Omega$$

2. Complete a tabela abaixo com os valores dos condutores em Ω .

Valores medidos

$$\frac{1}{\text{---}} \frac{4}{\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\frac{2}{\text{---}} \frac{5}{\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\frac{3}{\text{---}} \frac{6}{\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Temperatura TA $\underline{\hspace{2cm}}$ °C

Valores calculados

Classe B

80°C + TA = $\underline{\hspace{2cm}}$ °C

$$\frac{1}{\text{---}} \frac{1}{\text{---}} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

- Calcule a potência aparente deste motor a plena carga.
- Calcule a potência real deste motor a plena carga.
- Calcule o fator de potência a plena carga.

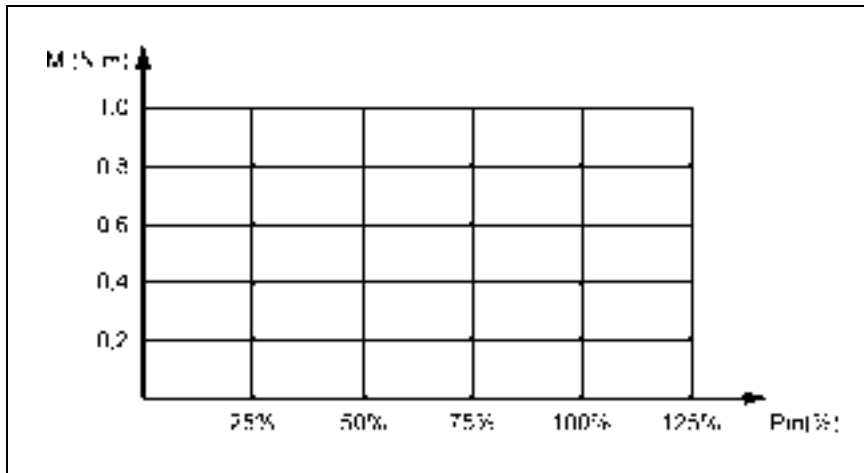
6. Calcule a potência mecânica fornecida no eixo do motor a plena carga, em **cv**.
7. Calcule a potência mecânica fornecida no eixo do motor a plena carga, em **HP**.
8. Calcule o conjugado do binário do eixo a plena carga.
9. Calcule o deslizamento a plena carga.
10. Calcule o rendimento do motor a plena carga.
11. Complete a tabela abaixo

Fração	Carga %	Valores medidos				
		Força (N)	EL (V)	JL (A)	P (W)	N (rpm)
1/4	25					
2/4	50					
3/4	75					
4/4	100					
5/4	125					

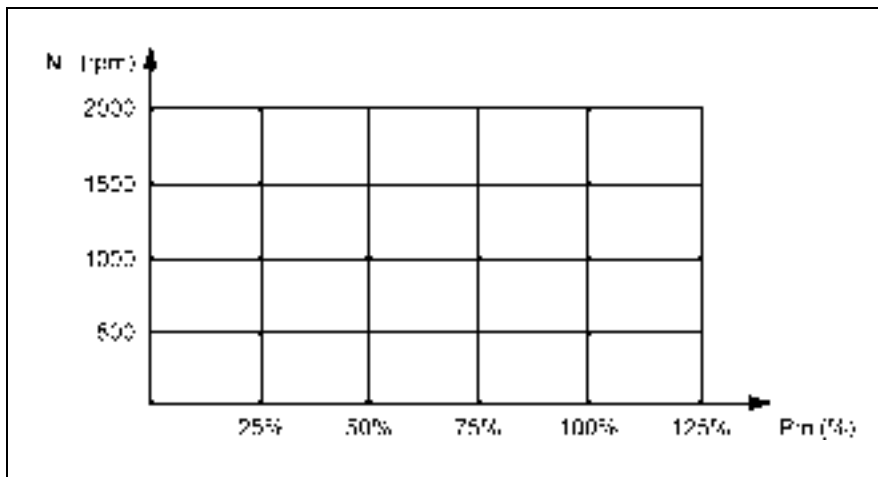
Fração	Carga %	Valores calculados				
		Pm (cv-HP)	M (N/m)	Pa (VA)	cos.φ %	μ %
1/4	25					
2/4	50					
3/4	75					
4/4	100					
5/4	125					

Agora, com os valores da tabela, você vai resolver as questões de n^{os} 12, 13, 14 e 15.

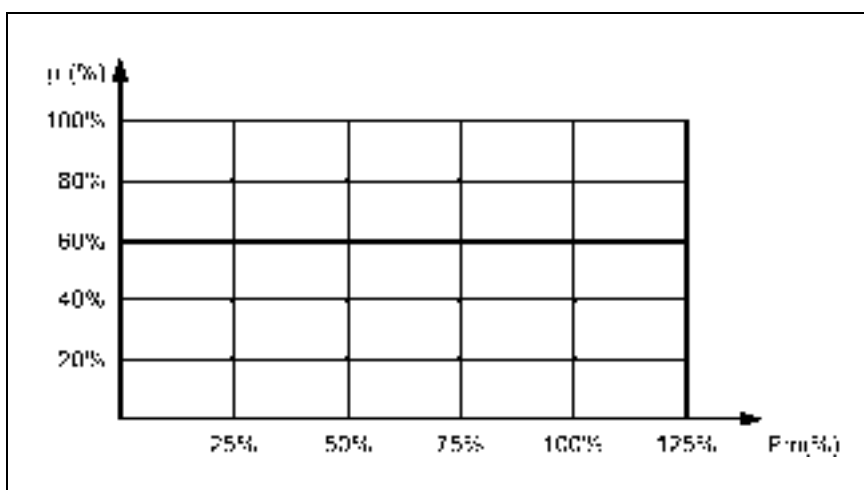
12. Faça o gráfico do conjugado em função da potência mecânica.



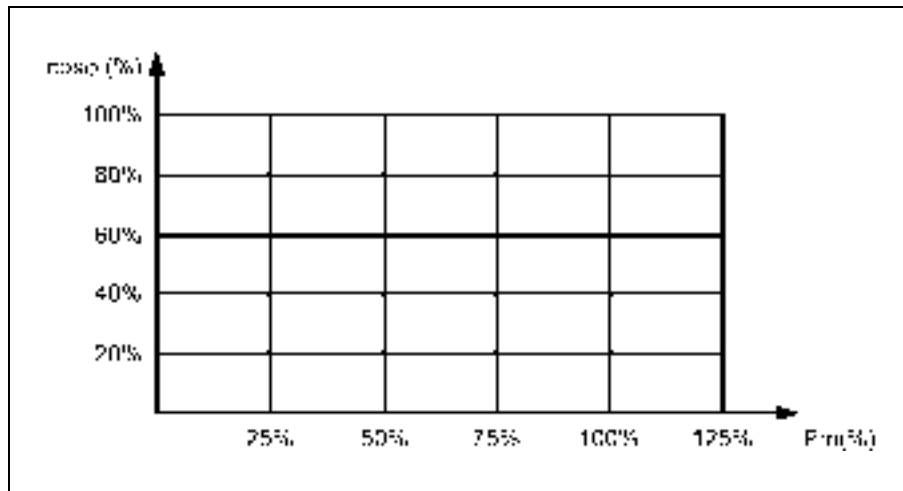
13. Faça o gráfico da rotação síncrona em função da potência mecânica.



14. Faça o gráfico do rendimento em função da potência mecânica.



15. Faça o gráfico do fator de potência em função da potência mecânica.



16. Escreva os três inconvenientes de se utilizar um motor com potência cinco vezes acima da necessária para acionar uma carga.

Bobinagem de motores trifásicos imbricados

Assinale com **X** a alternativa correta.

1. Os enrolamentos imbricados possuem:
 - a) () Um lado de bobina por ranhura;
 - b) () Dois lados de bobina por ranhura;
 - c) () O número de bobinas igual ao dobro do número de ranhuras.

2. A fórmula que serve para calcular o passo de bobina fracionário é:
 - a) () $Y_{bf} = \frac{5}{6} \cdot Y_p$
 - b) () $Y_{bf} = \frac{3}{5} \cdot Y_p$
 - c) () $Y_{bf} = \frac{4}{5} \cdot Y_p$
 - d) () $Y_{bf} = \frac{1}{5} \cdot Y_p$

3. O freio de Prony serve para:
 - a) () Medir a corrente do motor;
 - b) () Carregar mecanicamente motores;
 - c) () Calcular o número de bobinas do motor.

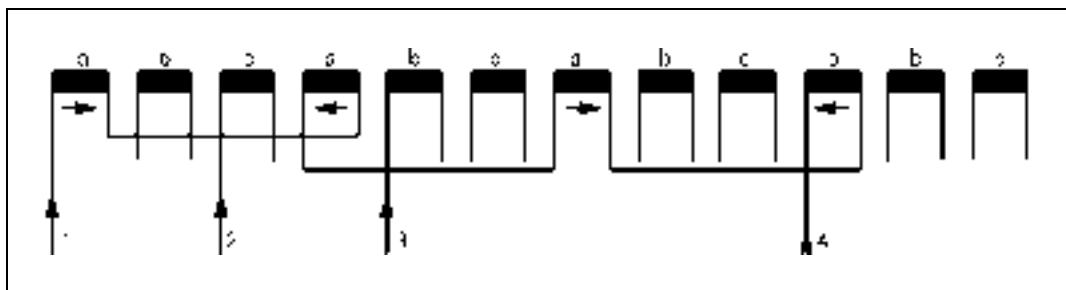
4. Quando a tensão nominal aumenta 10%, a corrente a plena carga:
 - a) () Diminui 7%;
 - b) () Aumenta 11%;
 - c) () Diminui 11%;
 - d) () Aumenta 7%.

5. Quanto a tensão nominal aumenta 20%, a corrente de partida:

- a) () Aumenta 25%
- b) () Diminui 10%;
- c) () Aumenta 12%;
- d) () Diminui 25%.

6. Escreva os nomes dos três tipos de passos de bobina possíveis.

7. Complete o esquema simplificado do motor da figura abaixo.



8. Um motor foi construído de acordo com a classe IP44 da ABNT. Escreva o significado completo desta classe.

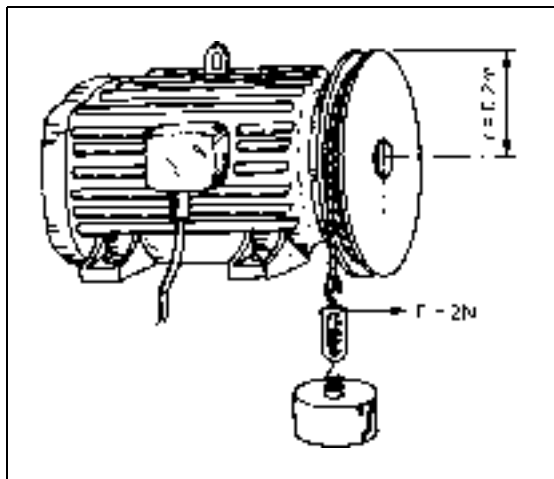
9. A figura abaixo apresenta um modelo de freio de Prony com os valores indicados da força e do raio.

Calcule:

a) A potência em cv:

b) A potência em HP:

c) O conjugado do binário do eixo:



10. Um motor trifásico imbricado possui 24 ranhuras e 4 pólos. Calcule:

- a) O número de bobinas: _____
- b) O número de dentes: _____
- c) O número de bobinas por pólo a fase: _____
- d) O passo da bobina fracionário: _____
- e) Os graus elétricos totais: _____
- f) Os graus elétricos por ranhura: _____
- g) O passo da fase: _____
- h) O número de bobinas levantadas: _____

46.15.12.670-5

Aprendizagem Industrial

Eletricista de manutenção

Bobinadeira manual

Montagem de ferro de soldar

Preparação e bobinagem de transformador monofásico

Polarização e ensaio de transformador trifásico

Bobinagem de motor trifásico meio imbricado

Bobinagem de motor trifásico imbricado

Bobinagem de motor trifásico com ligação Dahlander

Bobinagem de motor monofásico de fase auxiliar

Bobinagem de rotor com bobinas pré-moldadas

Preparação e bobinagem de rotor universal

Preparação e bobinagem de armaduras de máquinas c.c.