

Máquinas e Comandos Elétricos

VERSÃO 1.4

PROF.: ENG. DENNYS ALVES

Lista de Figuras

Figura 1: Força aplicada a um eixo. Fonte: Disponível em: < http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf >, acesso em 19/05/12.....	7
Figura 2: Princípio do motor elétrico. Fonte: Elaborado pelo Autor....	8
Figura 3: Constituição básica motores elétricos. Fonte: Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAVv0AE/motores >, acesso em 28/05/12.....	9
Figura 4: Tipos de motor de Corrente Contínua. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	10
Figura 5: Classificação dos motores de corrente alternada. Fonte: Elaborado pelo autor.....	13
Figura 6: Classificação dos motores CA monofásicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.....	13
Figura 7: Classificação dos motores CA trifásicos. Fonte: Elaborado pelo autor.....	14
Figura 8: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.....	15
Figura 9: Motor monofásico 2 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	15
Figura 10: Motor monofásico 4 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	16
Figura 11: Motor monofásico 6 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	16
Figura 12: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.....	17
Figura 13: Circuito equivalente motor de capacitor permanente. Fonte: Disponível em: < https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/c/c6/03-motor_capacitor_de_partida.jpeg >, acesso em 19/05/12.....	17
Figura 14: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.....	18
Figura 15: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.....	18
Figura 16: Motor trifásico 3 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	19
Figura 17: Ligação em triângulo das bobinas do motor trifásico 6 terminais. Fonte: Disponível em: < http://www.saladaeletrica.com.br/comandos-eletricos/fechamento-motor-6-pontas/ >, acesso em 20/11/12.....	19
Figura 18: Ligação em estrela das bobinas do motor trifásico 6 terminais. . Fonte: Disponível em: < http://www.saladaeletrica.com.br/comandos-eletricos/fechamento-motor-6-pontas/ >, acesso em 20/11/12.....	20
Figura 19: Ligação das bobinas do motor trifásico 6 terminais em 220/ 380 volts. Fonte: Disponível em: < http://quadroeletrico.blogspot.com.br/2010/08/motores-eletricos-trifasicos.html >, acesso em 20/11/12.....	20
Figura 20: Motor trifásico 6 terminais em 220 volts (triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.....	20
Figura 21: Motor trifásico 6 terminais em 380 volts (estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.....	21
Figura 22: Interligação das bobinas em estrela do motor trifásico 9 terminais em uma rede de 440 volts (estrela série) e em rede de 220 volts (estrela paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.....	21
Figura 23: Interligação das bobinas em triângulo do motor trifásico 9 terminais em uma rede de 440 volts (triângulo série) e em rede de 220 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.....	22

Figura 24: Motor trifásico 12 terminais em 220 volts (duplo triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	22
Figura 25: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 220 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.	22
Figura 26: Motor trifásico 12 terminais em 380 volts (dupla estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	23
Figura 27: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 380 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.	23
Figura 28: Motor trifásico 12 terminais em 440 volts (série triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	23
Figura 29: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 440 volts (triângulo série). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.	23
Figura 30: Ligação em triângulo série das bobinas do motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < http://saladaeletrica.blogspot.com.br/2011/11/motor-eletrico-trifasico-de-12-pontas_23.html >, acesso em 20/11/12.	24
Figura 31: Ligação em estrela série das bobinas do motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < http://saladaeletrica.blogspot.com.br/2011/11/motor-eletrico-trifasico-de-12-pontas_23.html >, acesso em 20/11/12.	24
Figura 32: Motor trifásico 12 terminais em 760 volts (série estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	25
Figura 33: Fechamentos para motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < http://www.triangulobombas.com.br/motor-eletrico.php >, acesso em 20/11/12.	25

Figura 34: Placa de identificação de motor fabricante Metalcorte. Fonte: Disponível em: < http://www.preciolandia.com/br/motor-eletrico-monofasico-3-cv-3500-rpm-736fte-a.html >, acesso em 20/11/12.	26
Figura 35: Placa de identificação de motor fabricante Eberle. Fonte: Disponível em: < http://campinas.olx.com.br/motor-eletrico-de-inducao-trifasico-eberle-iid-107427084 >, acesso em 20/11/12.	27
Figura 36: Detalhamento dos elementos da placa de identificação de motor. Fonte: Disponível em: < http://www.triangulobombas.com.br/motor-eletrico.php >, acesso em 23/11/12.	27
Figura 37: Placa de identificação de motor trifásico fabricante WEG. Fonte: Disponível em: < http://dc383.4shared.com/doc/EnDPTBiV/preview.html >, acesso em 20/11/12.	27
Figura 38: Placa de identificação de motor monofásico fabricante WEG. Fonte: Disponível em: < http://dc383.4shared.com/doc/EnDPTBiV/preview.html >, acesso em 23/11/12.	27
Figura 39: Princípio de funcionamento do contactor. Fonte: Disponível em: < http://www.refrigeracao.net/Topicos/contatores.htm >, acesso em 23/11/12.	29
Figura 40: Elementos construtivos do contactor. Fonte: Disponível em: < http://dircasa-calora.blogspot.com.br/2011/10/el-contactor.html >, acesso em 23/11/12.	30
Figura 41: Contactor fabricante Korlen. Fonte: Disponível em: < http://korlen168.en.made-in-hina.com/productimage/MbInUcDBgiVE-2f0j00veWarqIjHVoQ/China-Simens-Contactor-3TF40.html >, acesso em 23/11/12.	30
Figura 42: Contactor fabricante Moeller. Fonte: Disponível em: < http://www.moeller.net/en/products_solutions/motor_applications/s witch_protect/mini_contactor_relays/index.jsp >, acesso em 23/11/12.	31
Figura 43: Rele térmico fabricante Telemecanique. Fonte: Disponível em: <	

http://hpindustrialperu.com/hp_industrial_por_categorias.php?pag=8&c=2 >, acesso em 23/11/12. 32

Figura 44: Rele térmico fabricante Siemens. Fonte: Disponível em: < http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-441779156-rele-termico-siemens-sirius-_JM >, acesso em 23/11/12. 32

Figura 45: Chave boia convencional. Fonte: Disponível em: < <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/> >, acesso em 23/11/12. 32

Figura 46: Chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/> >, acesso em 23/11/12. 32

Figura 47: Exemplo aplicação da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/> >, acesso em 23/11/12. 33

Figura 48: Exemplo controle de nível máximo e mínimo com uso de chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12. 33

Figura 49: Exemplo de ajuste do nível máximo e mínimo da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12. 33

Figura 50: Ligação elétrica da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12. 33

Figura 51: Reservatório utilizando chave boia superior e inferior com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-237772144-chave-boia-25amp-ferpi-boia-de-nivel-p-acionamento-_JM >, acesso em 23/11/12. 33

Figura 52: Disjuntor motor fabricante Metaltext, modelo: DM2-80A. Fonte: Disponível em: < http://www.digel.com.br/novosite/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=48&category_id=16&option=com_virtuemart&Itemid=73 >, acesso em 23/11/12. 34

Figura 53: Disjuntor motor fabricante WEG, modelo: MPW16. Fonte: Disponível em: < http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-438015937-disjuntor-motor-weg-_JM >, acesso em 23/11/12. 34

Figura 54: Disjuntor motor fabricante WEG, modelo: MPW25. Fonte: Disponível em: < <http://matelbastos.com.br/produto/Disjuntor-Motor-MPW25%252d20-%2816%252d20A%29-Weg.html> >, acesso em 23/11/12. 34

Figura 55: Fusível NH encaixado na base. Fonte: Disponível em: < http://www.hifusi.com.br/fusivel_NH.php >, acesso em 23/11/12. 35

Figura 56: Fusíveis NH de amperagens e tamanhos distintos. Fonte: Disponível em: < <http://www.spooeletrica.com.br/fusiveis.php> >, acesso em 23/11/12. 36

Figura 57: Base para fusíveis NH. Fonte: Disponível em: < <http://www.hifusi.com.br/produtos.php> >, acesso em 23/11/12. 36

Figura 58: Punho destinado a extrair fusíveis NH. Fonte: Disponível em: < https://ssl461.websiteseguro.com/enselli/interna.asp?cipdt=10720&codigo_departamento=4&codigo_categoria=0&codigo_subcategoria=0 >, acesso em 23/11/12. 36

Figura 59: Conjunto de proteção diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.industry.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protacao-eletrica/fusiveis/silized/pages/silized.aspx> >, acesso em 23/11/12. 36

Figura 60: Elementos de um conjunto de proteção diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.spooeletrica.com.br/fusiveis.php> >, acesso em 23/11/12. 36

Figura 61: Base para fusível diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6140-base-unipolar-para-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12. 37

Figura 62: Chave para parafuso de ajuste do fusível diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6144-chave-para-parafuso-de-ajuste-do-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12. 37

Figura 63: Anel de proteção para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6141-anel-de-protacao-para-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12. 37

Figura 64: Tampa de proteção para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6153-tampa-de-protecao-para-fusivel-diazed >, acesso em 23/11/12.	37
Figura 65: Parafuso de ajuste para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < http://www.verdolineletrica.com/category.php?id_category=38 >, acesso em 23/11/12.....	37
Figura 66: Base trifásica para fusível diazed. Fonte: Disponível em: < http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/equipamentos-industriais/outros-equipamentos-industriais/base-tripolar-para-fusivel-diazed-433756 >, acesso em 23/11/12.....	38
Figura 67: Chave auxiliar fim de curso. Fonte: Disponível em: < http://www.rosseletronica.com/chavediv.htm >, acesso em 23/11/12.....	38
Figura 68: Chave auxiliar fim de curso com cabeçote de rolete. Fonte: Disponível em: < http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6078-chave-fim-de-curso-com-caixa-de-nylon >, acesso em 23/11/12.....	38
Figura 69: Constituição interna da chave auxiliar fim de curso. Fonte: Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Chave_fim_de_curso >, acesso em 23/11/12.....	39
Figura 70: Exemplo medição corrente de partida de motores elétricos. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	40
Figura 71: Detalhe fixação do intertravamento mecânico. Fonte: Disponível em: < http://www.geindustrial.com.br/produtos/disjuntores/industriais_iec/02.asp >, acesso em 20/05/12.	43
Figura 72: Chave de contatos sólidos. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	44
Figura 73: Chave eletrônica. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.....	44
Figura 74: Chave de contato de mercúrio. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	45

Figura 75: Curva característica de corrente e conjugado da chave estrela-triângulo. Fonte: Disponível em: < http://www.seaan.com.br/cursos/comandos-eletricos-basico/apostila/ >, acesso em 20/05/12.	47
Figura 76: Interligação do eletroduto ao motor elétrico. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.....	49
Figura 77: Exemplo de medição resistência de isolamento da carcaça do motor. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.....	49
Figura 78: Exemplo de medição resistência de isolamento dos eletrodutos. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.	50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Número de polos x velocidades do motor. Fonte: elaborada pelo autor.	12
Tabela 2: Número de polos x velocidades. Fonte: Elaborado pelo autor.	25
Tabela 3: Ligação do motor x tensão da rede de alimentação. Fonte: elaborador pelo autor.	46
Tabela 4: Vantagens e Desvantagens da Chave Estrela - Triângulo. Fonte: elaborado pelo autor.	47

Sumário

Lista de Figuras	1	4.5. Motor Universal	18
Lista de Tabelas	4	4.6. Motor Trifásico	19
1. Apresentação.....	6	5. Número de Pólos e Velocidades	25
2. Introdução.....	6	6. Rendimento do Motor	25
3. Conjugado	7	7. Placa de Identificação do Motor.....	25
3.1. Potência e Energia.....	7	8. Dispositivos Básicos Utilizados Em Acionamentos Elétricos	28
3.2. Expressões Matemáticas	8	8.1. Contactor.....	28
4. Motores Elétricos	8	8.2. Relés de Proteção	31
4.1. Estrutura Básica do Motor Elétrico	9	8.3. Chave-Bóia.....	32
4.2. Motores CC	9	8.4. Disjuntor Motor.....	33
4.2.1. Excitação Série.....	10	8.5. Fusíveis.....	35
4.2.2. Excitação Paralela	10	8.6. Chave Auxiliar Fim de Curso.....	38
4.2.3. Composto (compound)	10	9. Sistemas de Partida de Motores.....	39
4.3. Motores CA.....	10	9.1. Circuitos de Força e Comando.....	41
4.3.1. Motor Síncrono	11	9.1.1. Circuito de Comando	41
4.3.2. Motor de Indução Assíncrono	11	9.1.2. Circuito de Força	41
4.3.3. Velocidade do Motor.....	11	10. Chave de Partida Direta	41
4.3.4. Escorregamento.....	12	10.1. Diagrama do Sistema de Partida Direta.....	41
4.3.5. Velocidade Nominal	12	10.2. Chave de Partida Direta Em Caixa Termoplástica.....	42
4.4. Motores CA de Indução Monofásicos	14	11. Sistema de Partida Direta Com Reversão	42
4.4.1. Motor Monofásico Fase Auxiliar.....	14	11.1. Intertravamento	42
4.4.2. Motor de Capacitor de Partida	16	11.2. Diagrama do Sistema de Partida Direta com Reversão... 43	
4.4.3. Motor de Capacitor Permanente.....	17	11.3. Diagrama do Sistema de Partida Direta com Chave-Bóia	43
4.4.4. Motor com Dois Capacitores.....	17	12. Chave de Partida Compensadora	45
4.4.5. Motor de Polos Sombreados	18	12.1. Diagrama de Força.....	45
		12.2. Diagrama de Comando.....	45

13.	Chave de Partida Dahlander	45
14.	Estrela-Triângulo	46
14.1.	Circuito de Força	48
14.2.	Circuito de Comando	48
15.	Manutenção de Máquinas Elétricas.....	48
15.1.	Aquecimento dos Contatos.....	48
15.2.	Resistência de Isolamento	49
15.3.	Lubrificação	50
15.4.	Bobinagem.....	50

1. Apresentação

Esta apostila tenta contribuir para a difusão dos conhecimentos na área de máquinas e comandos elétricos. Na medida do possível, buscamos informar os detentores dos direitos autorais sobre os conteúdos, figuras, gráficos, tabelas e demais elementos apresentados ao longo do corpo do texto, entretanto caso alguma referência tenha sido inadvertidamente omita nos prontificamos a providenciar os eventuais acertos.

Na elaboração deste material primou-se por uma abordagem técnica com objetividade, simplicidade e tratamento introdutório dos temas abordados, não dispensando, portanto, maior aprofundamento em bibliografias especializadas tais quais as referências apresentadas no final da apostila.

Reservamo-nos o direito de promover alterações nesta apostila sem aviso prévio. Receberei com entusiasmo críticas e sugestões que possam contribuir para melhoria deste trabalho.

Autorizamos a livre à reprodução ou transmissão, no todo ou em parte, por qualquer modo ou qualquer outro meio, deste material desde que mantida a autoria.

2. Introdução

As constantes modificações de normas e das tecnologias associadas às instalações industriais torna necessária uma atualização constante dos profissionais que desenvolvem

atividades dentro ou no entorno das indústrias. Com esta apostila buscamos contribuir para a capacitação dos profissionais da área industrial, bem como dos simpatizantes das práticas de instalações elétricas no que tange aos conceitos introdutórios mínimos necessários a compreensão das tecnologias associadas às máquinas elétricas básicas encontradas nas inúmeras modalidades de indústrias.

O correto dimensionamento e especificação dos condutores e demais componentes associados aos motores elétricos vai proporcionar maior robustez e acima de tudo segurança aos processos industriais¹.

3. Conjugado

Também denominado de torque, momento ou binário, corresponde à medida do esforço necessário para girar um eixo.

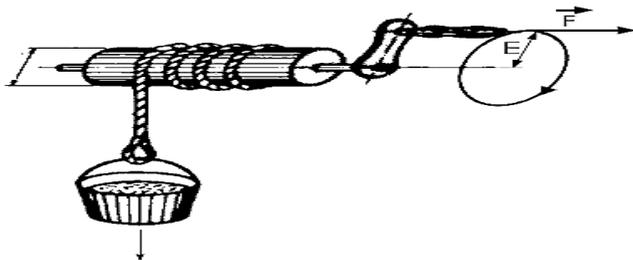


Figura 1: Força aplicada a um eixo. Fonte: Disponível em: <
<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>, acesso em
 19/05/12.

¹ Dimensionamento inadequado e manutenção precária ou inexistente geram fugas de corrente que oneram as contas de energia e principalmente causam incêndios.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

Matematicamente definimos o torque a partir da expressão:

$$C = F \times l$$

Sendo:

C : Conjugado em Newton-metro;

F : Força em Newtons;

l : Distância do ponto ao eixo em metros.

A análise da expressão nos permite afirmar que a força aplicada a uma manivela depende do comprimento l . Por exemplo, se dobramos o l a força F cai pela metade.

Exemplo 1: Calcule o conjugado sabendo-se que a força aplicada vale 20 N e o comprimento correspondente é de 10 cm.

$$l = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}; C = F \times l = 20 \times 0,1 = 2 \text{ Nm}$$

3.1. Potência e Energia

A potência mede a rapidez com que a energia é aplicada ou consumida. Matematicamente temos:

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

Sendo:

P : Potência; E : Energia; t : Tempo.

$$E = F \times d$$

Sendo:

E : Energia; F : Força; d : Deslocamento.

Exemplo 2: Calcule a energia gasta para erguer um balde do fundo até a boca do poço. Considerar que a profundidade total do poço é de 24,5 metros e a força aplicada foi de 20 newtons.

$$E = F \times d = 20 \times 24.5 = 490 \text{ NM}$$

3.2. Expressões Matemáticas

Abaixo a equivalência entre as principais unidades de potência e energia:

- a) 1 cavalo vapor= 736 Watts; 1 CV= 736 W;
- b) 1 Newton-metro= 1 Joule; 1 NM= 1 J.

Principais expressões matemáticas associadas a movimentos lineares:

$$E = F \times d ;$$

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

$$P = \frac{F \times d}{t} ; \text{Unidade: Watts;}$$

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

$$P = \frac{F \times d}{736 \times t} ; \text{Unidade: Cavalo-Vapor.}$$

Principais expressões matemáticas associadas a movimentos circulares (rotação):

$$C = F \times r ; C: \text{Conjugado; Unidade: N.M;}$$

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{60} ; V: \text{Velocidade de rotação; Unidade: m/s;}$$

$$P_{MEC} = \frac{F \times d}{736} ; P_{MEC}: \text{Potência mecânica; Unidade: Cavalo-Vapor.}$$

4. Motores Elétricos

Motores elétricos são equipamentos destinados a transformar energia elétrica em outras formas de energia, principalmente energia mecânica. Seu funcionamento baseia-se no princípio da indução eletromagnética.

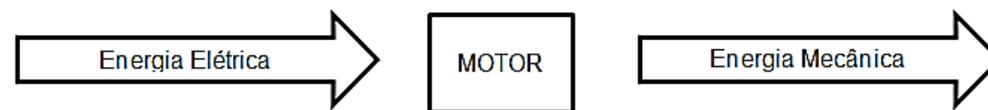


Figura 2: Princípio do motor elétrico. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Motores ideais são motores que transformam integralmente a energia elétrica em energia mecânica sem perdas. Na prática não existem motores ideais.

Na conversão de energia elétrica ocorrem perdas, ocasionadas, por exemplo, por atrito entre os componentes, efeito joule, histerese, dentre outras. A maioria dos motores

funciona com rendimento acima de 90%. Em geral maiores potências implicam em maiores rendimentos.

A ligação dos motores elétricos deve ser adequada à tensão de alimentação disponível na rede a qual os mesmos serão instalados.

Algumas vantagens dos motores elétricos quando comparados com outras modalidades de motores são:

- a) Baixo custo;
- b) Construção simples;
- c) Grande versatilidade de adaptação às cargas;
- d) Melhores rendimentos.

Quanto ao princípio de funcionamento e à tensão de alimentação, os motores podem ser divididos em motores monofásicos (1ϕ) e trifásicos (3ϕ). Podem ainda ser divididos em motores de corrente contínua e corrente alternada.

4.1. Estrutura Básica do Motor Elétrico

O motor é constituído por duas partes principais:

- a) Estator: Corresponde à parte estacionária ou fixa do motor.
- b) Rotor: Parte móvel do motor.

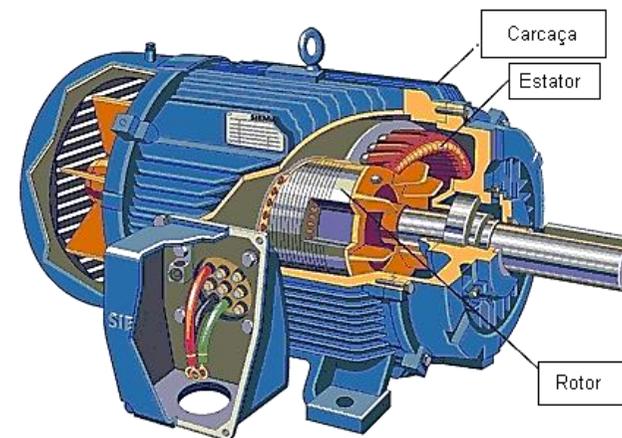


Figura 3: Constituição básica motores elétricos. Fonte: Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAVv0AE/motores>>, acesso em 28/05/12.

4.2. Motores CC

Os motores CC necessitam de um retificador eletrônico para transformar a corrente de entrada da forma alternada em corrente contínua para alimentar o motor. Em instalações industriais antigas eram utilizados geradores de corrente contínua denominados de dínamos para alimentar os motores CC.

Em geral tem custo mais elevado quando comparados com os motores alimentados por fontes de tensão alternadas. Como vantagens podemos citar o fato de que podem funcionar com velocidade ajustável dentro de amplas faixas de valores. Também possuem bom rendimento em aplicações associadas a controles de alta flexibilidade e precisão.

O uso de máquinas CC em ambientes industriais é restrito, sendo indicado apenas em aplicações muito específicas, devendo quase sempre ser realizada uma análise financeira do custo x benefício, principalmente devido ao seu custo elevado de instalação e manutenção.

As máquinas CC podem funcionar tanto como motor quanto como gerador sem modificar drasticamente sua estrutura.

Suas partes fundamentais são: Carcaça, peças polares, induzido e coletor (estão em contato com as escovas).

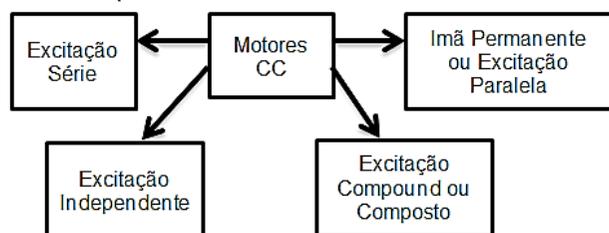


Figura 4: Tipos de motor de Corrente Contínua. Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2.1. Excitação Série

Também chamado simplesmente de motor CC série. A bobina de campo está em série com a bobina do rotor (indutor).

De um modo geral não podem funcionar em vazio, pois sua velocidade aumenta indefinidamente até danificar o motor, possui conjugado de partida elevado e sua velocidade varia de acordo com a carga.

Pode ser encontrado em aplicações tais como: tração elétrica, guindastes, pontes rolantes e compressores.

4.2.2. Excitação Paralela

Também denominado de derivação, shunt ou paralelo é caracterizado pelo fato de possuir a bobina de campo ligada em paralelo com o indutor, ambas diretamente alimentadas pela fonte.

Como características podemos citar o fato de que possuem uma velocidade aproximadamente constante e um conjugado proporcional a carga.

São encontrados em aplicações tais como turbo bombas, ventiladores e esteiras transportadoras.

4.2.3. Composto (compound)

O campo é constituído de duas bobinas uma ligada em série e outra em paralelo com o induzido. Incorpora as vantagens dos motores CC de excitação série e shunt tais como a velocidade aproximadamente constante e um elevado conjugado de partida.

São encontrados principalmente em bombas alternativas.

4.3. Motores CA

A principal vantagem é fato de que podem ser conectados diretamente na rede de distribuição da concessionária uma vez que sua alimentação também ocorre em tensão AC.

A primeira classificação dos motores CA consiste em dividi-los em dois tipos:

a) Motor síncrono;

b) Motor de indução assíncrono.

4.3.1. Motor Síncrono

Tipo de motor caracterizado por funcionar com velocidade fixa (constante). Não possuem escorregamento e possuem seus campos independentes um do outro.

Estão associados quase que totalmente para aplicações de grande potência, principalmente em função de seus altos custos de fabricação quando destinado a tamanhos menores, ou ainda em situações nas quais se necessita de velocidade invariável.

Tem como principal característica o fato de que a velocidade do eixo (η) é igual à velocidade do campo girante. (n_s).

Como vantagens, citamos:

- a) Sua velocidade é independente da carga;
- b) Possuem alto fator de potência.

Quanto às desvantagens:

- a) Difícil regulação de velocidade.
- b) Alto custo.

O indutor (rotor) é alimentado com corrente contínua e o induzido (estator) é alimentado com corrente alternada.

Os motores síncronos possuem pequenas diferenças quando alimentados de forma monofásica ou trifásica. No caso do motor síncrono monofásico as polaridades dos indutores são fixas e a polaridade das bobinas induzidas varia com a frequência.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

O motor síncrono monofásico não pode arrancar sozinho. Em virtude da inércia do motor os pólos induzidos trocaram de polaridade antes que o indutor inicie sua rotação.

Já os motores síncronos trifásicos são capazes de arrancar sozinhos em função das correntes de Foucault produzidas no ferro do rotor. Quando a velocidade se aproxima do sincronismo alimentam-se os indutores.

4.3.2. Motor de Indução Assíncrono

Sua velocidade é aproximadamente constante variando ligeiramente em função do tipo de carga mecânica aplicada no seu eixo², logo são descritos como motores de velocidade variável. Seus campos são independentes.

É o motor de uso mais difundido nos ambientes industriais principalmente por seu baixo custo, simplicidade e robustez, sendo estes dois últimos aspectos decisivos uma vez que tornam a manutenção das máquinas menos onerosa.

Sua velocidade pode ser controlada e/ou adaptada a determinadas situações ou tipos de cargas fazendo uso de um dispositivo denominado de inversor de frequência.

4.3.3. Velocidade do Motor

A velocidade síncrona do motor pode ser determinada através da expressão matemática:

$$n = n_R = \frac{120f}{p}$$

² A velocidade do rotor é menor que a velocidade do campo magnético girante.

Sendo:

η : Velocidade ou rotação síncrona do motor em RPM;

f : Frequência da rede em Hz;

p : Número de pólos do motor.

Abaixo uma tabela que associa o número de polos do motor com suas respectivas velocidades.

Tabela 1: Número de polos x velocidades do motor. Fonte: elaborada pelo autor.

Número de Polos	Velocidade Síncrona por Minuto		Velocidade do Rotor
	60 Hertz	50 Hertz	60 Hertz
2 polos	3600 RPM	3000 RPM	3570 RPM
4 polos	1800 RPM	1500 RPM	1780 RPM
6 polos	1200 RPM	1000 RPM	
8 polos	900 RPM	750 RPM	870 RPM
10 polos	720 RPM	600 RPM	

4.3.4. Escorregamento

Corresponde à diferença entre o campo girante do estator e o campo do rotor. Em geral vem expresso em valores percentuais relacionados à velocidade de sincronismo.

Para motores funcionando em vazio (sem carga) o sincronismo possui valores muito baixos.

Abaixo a expressão matemática correspondente:

$$S = \frac{n_s - n_R}{n_s} \times 100$$

Onde:

S : Escorregamento em %;

n_s : Velocidade síncrona³;

n_R : Velocidade do rotor (velocidade nominal ou real do motor).

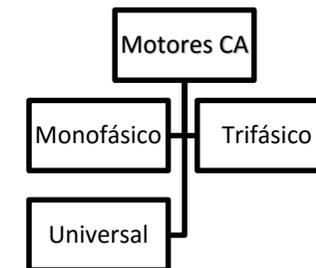
Quando em plena carga os motores de maior potência tem escorregamento próximo de 3% no caso dos motores de menor porte o escorregamento aproxima-se de 6%.

4.3.5. Velocidade Nominal

Corresponde a velocidade em RPM de um motor, quando o mesmo esta funcionando a potência nominal, frequência e tensão nominal.

Em termos matemáticos a velocidade nominal vai depender do escorregamento e da velocidade síncrona do motor:

$$n_R = n_s \times \left(1 - \frac{S\%}{100}\right)$$



³ Velocidade campo magnético estator.

Figura 5: Classificação dos motores de corrente alternada. Fonte:
Elaborado pelo autor.

Obs₁: Os motores CA do tipo universal são muito utilizados em eletrodomésticos.

Obs₂: Motores síncronos do tipo relutância⁴ e histerese são menos utilizados na prática.

Obs₃: Motores assíncronos do tipo gaiola de esquilo são também designados de motores de rotor em curto circuito.

Obs₄: Os motores CA monofásicos do tipo gaiola de esquilo possuem menor capacidade de condução de corrente por este motivo tratam-se de motores de baixa potência (normalmente até 2 CV).

Obs₅: Motores CA monofásicos necessitam de condutores de maior bitola e tem maior capacidade de condução de corrente uma vez que são utilizados em motores de alta potência.

Obs₆: para inverter o sentido de giro do motor trifásico basta invertermos a sequência de fase, ou seja, trocarmos duas fases entre si.

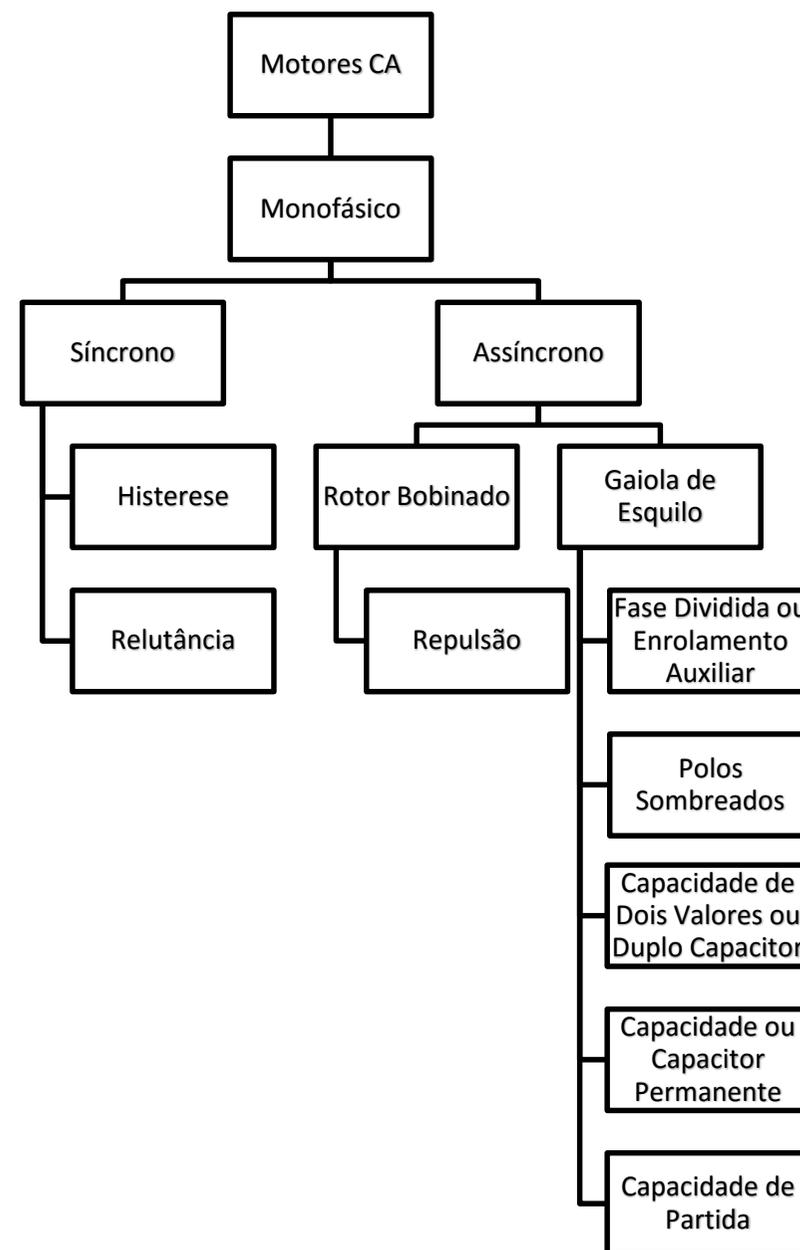


Figura 6: Classificação dos motores CA monofásicos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

⁴ Oposição à passagem do fluxo magnético.
Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

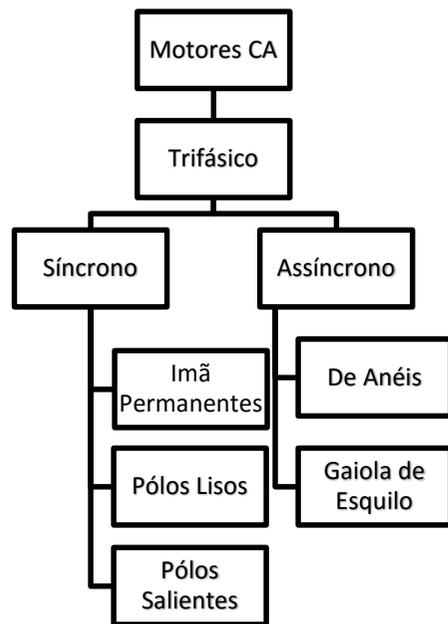


Figura 7: Classificação dos motores CA trifásicos. Fonte: Elaborador pelo autor.

4.4. Motores CA de Indução Monofásicos

São alimentados por fontes CA monofásicas. Os principais modelos encontrados são:

- Motor de fase auxiliar;
- Motor de capacidade de partida;
- Motor de capacidade permanente;
- Motor com 2 capacitores;
- Motor de pólos sombreados.

No caso de motores monofásicos de indução com potência máxima de 2 cv, os mesmos podem ser ligados a

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

partir de partida direta e manual, permitindo que a tensão da rede seja interligada diretamente aos seus terminais.

O dispositivo de acionamento direto deve ser especificado em função da corrente nominal do motor monofásico a ser ligado e sempre deve interromper o fluxo de corrente do condutor fase nunca do neutro.

Exemplos de chaves de acionamento de motores:

- Chave simples embutida;
- Chave rotativa tipo tambor;
- Chave para montagem em máquina.

4.4.1. Motor Monofásico Fase Auxiliar

Também denominados de motores de fase dividida. Possuem um enrolamento principal (bobinado de trabalho) e um auxiliar (bobinado de arranque ou partida), utilizado exclusivamente para partida. Os dois enrolamentos estão defasados em 90° elétricos. As bobinas de trabalho possuem mais espiras que as bobinas de partida. Alguns modelos possuem 2 bobinas de partida ligadas em série internamente no motor.

A defasagem entre os enrolamentos vai ter como consequência campos magnéticos também defasados entre si. Esta defasagem dos campos vai gerar um campo magnético pulsante resultante que provocará a indução magnética no rotor forçando o mesmo a acompanhar a rotação deste campo o que fará o rotor girar.

Internamente temos um dispositivo denominado de chave centrífuga responsável por ligar e desligar a fase auxiliar. A

chave permite que o enrolamento auxiliar fique conectado em série com o enrolamento principal. Ao ligarmos o motor a chave centrífuga permanece fechada até o rotor atingir uma determinada rotação (cerca de 75 á 80% da velocidade nominal do rotor), ponto a partir do qual a chave se abre e a fase auxiliar é retirada do sistema, como consequência o motor funciona somente através da fase principal.

O dispositivo centrifugado de partida é controlado por um conjunto de molas que pressionam os contatos elétricos. Quando o motor monofásico encontra-se parado as molas mantêm os contatos fechados interligando a chave com circuito do bobinado de partida deixando o motor em condições de operar. Depois de atingida a velocidade próxima a de funcionamento a força centrífuga deslocará as massas tendo como consequência a abertura dos contatos. Quando o motor é desligado o dispositivo retorna ao seu estado inicial deixando o motor em condições de efetuar uma nova partida.

Principais características dos motores de fase auxiliar:

- a) Conjugado de partida normal;
- b) Rendimento normal;
- c) Baixo fator de potência (f.p.)⁵.

Principais aplicações:

- a) Máquinas de secar roupas;
- b) Ventiladores;
- c) Extratores de suco.

⁵ Relação entre a potência ativa e aparente.
Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

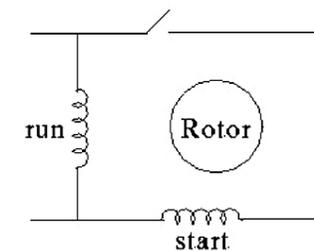


Figura 8: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.

Quando são do tipo fase auxiliar são encontrados comercialmente com 2, 4 ou 6 terminais (fios). Estes terminais podem ser interligados para as múltiplas tensões da rede ou para propiciar a inversão do sentido de rotação do rotor através da chave reversora.

Os de dois terminais são construídos para funcionar em apenas uma tensão de 110 ou 220 Volts. Outra característica desta modalidade é fato de que estes motores não permitem a inversão do sentido de rotação.

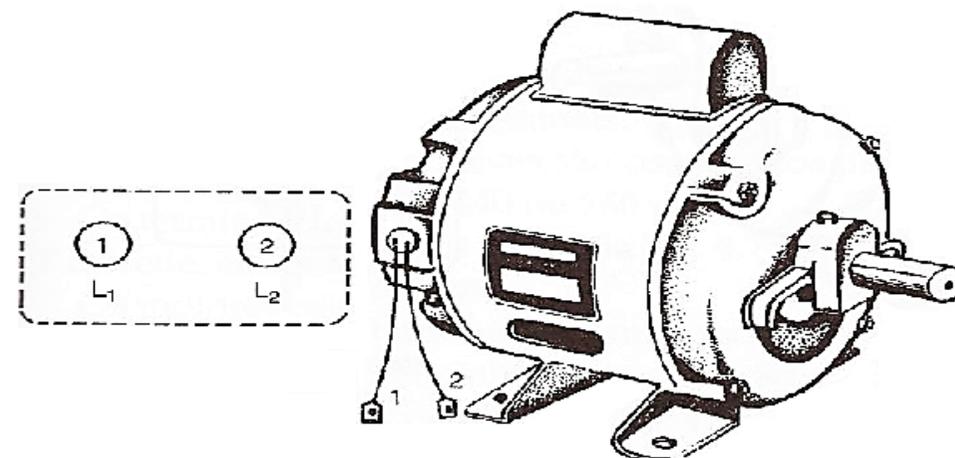


Figura 9: Motor monofásico 2 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Quando são disponibilizados 4 fios pode-se através de interligação conveniente de seus terminais inverter sua rotação⁶. São destinados ao funcionamento de uma única tensão de 110 v ou 220 volts.

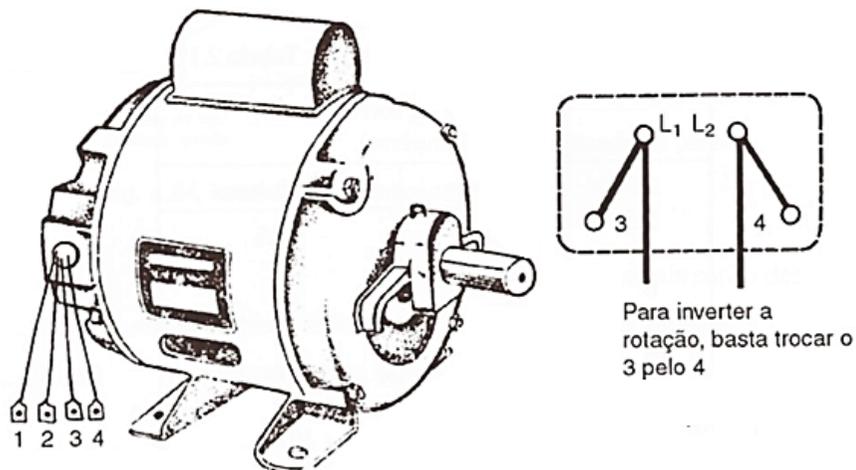


Figura 10: Motor monofásico 4 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Motores monofásicos de fase auxiliar com seis terminais proporcionam ao usuário a ligação em 110 ou 220 volts e ainda permitem a inversão de sua rotação.

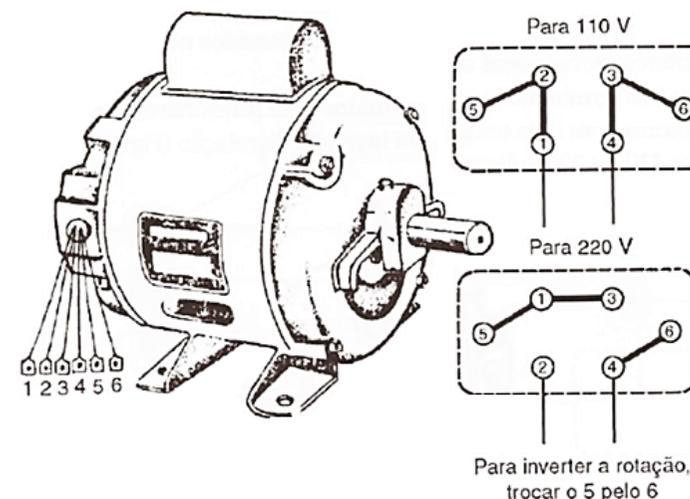


Figura 11: Motor monofásico 6 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

As configurações de interligação dos terminais dos motores foram apresentadas a título de exemplo podendo sofrer variações em função do fabricante e modelo de cada tipo de motor, devendo sempre ser consultados os manuais e placas de identificação dos motores.

No caso dos motores monofásicos a mudança do sentido de rotação é obtida invertendo o sentido no qual a corrente circula no bobinado de partida.

4.4.2. Motor de Capacitor de Partida

Semelhante ao motor de fase dividida. A principal diferença reside na inclusão de um dispositivo reativo⁷

⁶ Alguns fabricantes já disponibilizam no mercado motores de 4 terminais com possibilidade de ligação dos mesmos em 110/220 V.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

⁷ Dispositivos reativos são dispositivos que variam sua resistência ôhmica em função da frequência da corrente elétrica neles aplicada.

denominado de capacitor eletrolítico⁸ (capacitores polarizados) em série com o enrolamento auxiliar de partida.

O capacitor (ou condensador) aumenta a defasagem entre os campos magnéticos conseqüentemente o campo resultante torna-se maior que o motor de fase dividida⁹.

Por vezes é denominado de motor monofásico de arranque capacitivo. Diferencia-se do motor de fase auxiliar pelo fato de possuir um torque inicial mais forte. Também é equipado com uma chave centrífuga.

Algumas características desta modalidade de motores são:

- Alto conjugado de partida (elevado torque inicial sobre o rotor);
- Rendimento normal;
- Baixo fator de potência;

As aplicações típicas são: máquinas de lavar roupas, cortadores de grama, serra de disco, bombas, dentre outros.

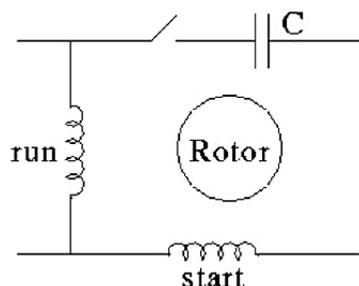


Figura 12: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.

⁸ Possui polaridade, logo tem posição fixa de trabalho. Seu dielétrico é um eletrólito líquido.

⁹ A defasagem aproximada entre o bobinado de trabalho (indutivo) e o de arranque (capacitivo) é 90°.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

4.4.3. Motor de Capacitor Permanente

Não possuem chave centrífuga. O enrolamento auxiliar e o capacitor permanecem sempre energizados. Neste caso o capacitor utilizado é do tipo eletrostático e projetado para uso contínuo.

Baixo conjugado de partida (50 a 100% do conjugado nominal), rendimento normal e alto fator de potência são algumas das características deste tipo de motor. Permitem o controle de sua velocidade através da variação da tensão aplicada.

Aplicações típicas: ventiladores, exaustores, lixadeiras, serras, esmeril, bombas e portas automáticas.

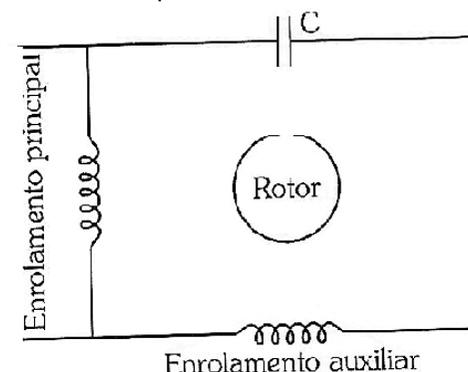


Figura 13: Circuito equivalente motor de capacitor permanente. Fonte: Disponível em: < https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/c/c6/03-motor_capacitor_de_partida.jpeg >, acesso em 19/05/12.

4.4.4. Motor com Dois Capacitores

Utiliza as vantagens dos dois modelos anteriores: partida como a do motor de capacitor de partida e funcionamento em regime como o do motor de capacitor permanente.

Aplicações: moinhos, trituradores, bombas centrífugas, etc.
Principias características:

- Alto custo;
- Potência superior a 1 cv;
- Alto conjugado de partida;
- Alto rendimento;
- Alto fator de potência.

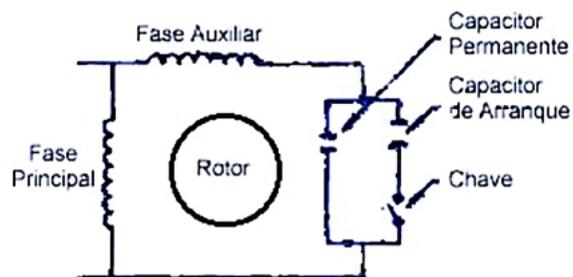


Figura 14: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.

4.4.5. Motor de Polos Sombreados

Também é denominado de motor de campo distorcido ou motor de pólo ranhurado.

Dentre os motores de indução monofásicos anteriormente apresentados este tipo de motor é o mais simples, confiável e econômico.

Apresenta um único sentido, reduzido conjugado de partida (15% a 50% do nominal), baixo rendimento, baixo fator de potência, simplicidade, robustez e baixo custo são

algumas de suas características. As potências variam de alguns milésimos de cv ate $\frac{1}{4}$ de cv.

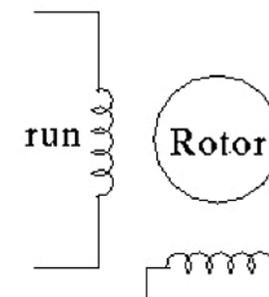


Figura 15: Circuito equivalente motor fase dividida. Fonte: Apostila comandos e motores elétricos, Professor Jorge Uliana, curso técnico em plásticos.

4.5. Motor Universal

Modalidade de motor destinada a funcionamento tanto em ca como em cc. Muito utilizado na maior parte dos eletrodomésticos e alguns equipamentos de uso industrial.

Pertence ao tipo série uma vez que o indutor e o induzido estão ligados em série. Quando o motor trabalha a plena carga a velocidade é a mesma em cc e ca.

Algumas de suas características são:

- Alto conjugado de partida.
- Alta velocidade para pequenas cargas.
- Arranca sozinho.
- A regulação de velocidade é realizada por meio de um reostato¹⁰ em série com os indutores e o induzido.

¹⁰ Espécie de resistor variável ou potenciômetro que permite o controle por parte do usuário.

4.6. Motor Trifásico

Tratam-se de máquinas elétricas rotativas destinadas a ligação em redes trifásicas. Internamente seu estator possui 3 grupos de bobinas cada uma associada a uma das fases de alimentação do motor.

As bobinas do estator estão defasadas 120° elétricos entre si, fazendo com que estas produzam como resultado um campo magnético girante. A interação do campo girante com o rotor provocará uma indução magnética que forçará o rotor a acompanhar a rotação do campo girante.

A inversão do sentido de rotação de qualquer motor trifásico pode ser realizada simplesmente invertendo duas fases entre si. Ex: inverter a fase R por S ou T. com auxílio de um multímetro podemos testar a continuidade entre os terminais do motor, identificando que terminais constituem cada bobina.

São fabricados com três, seis, nove ou doze terminais acessíveis e do tipo religáveis tornando o motor capaz de funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes.

a) Motor 3ϕ de três terminais

Para três terminais podemos interligar o mesmo em apenas uma tensão entre fases: 220, 380, 440 ou 760 volts.

Os terminais R, S e T da rede podem ser ligados em qualquer ordem aos terminais L_1 , L_2 e L_3 da caixa de ligações do motor.

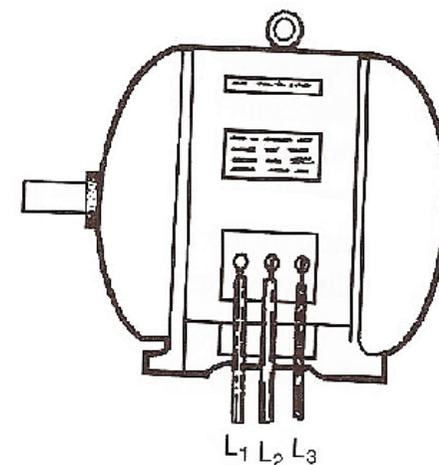


Figura 16: Motor trifásico 3 terminais. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

b) Motor 3ϕ de seis terminais

São os mais comumente encontrados nos parques industriais e proporcionam ligação em 220 ou 380 volts e uma única velocidade. As ligações das bobinas podem ser realizadas em estrela ou triângulo.

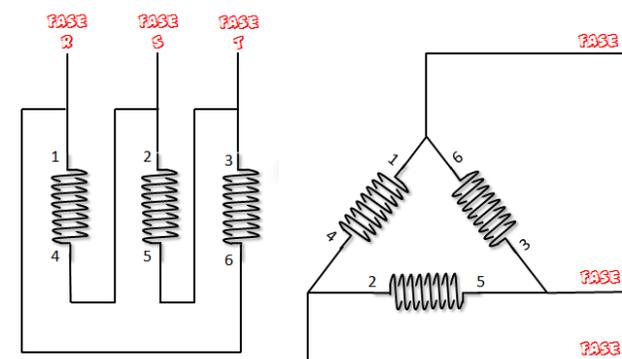


Figura 17: Ligação em triângulo das bobinas do motor trifásico 6 terminais. Fonte: Disponível em: < <http://www.saladaeletrica.com.br/comandos-eletricos/fechamento-motor-6-pontas/> >, acesso em 20/11/12.

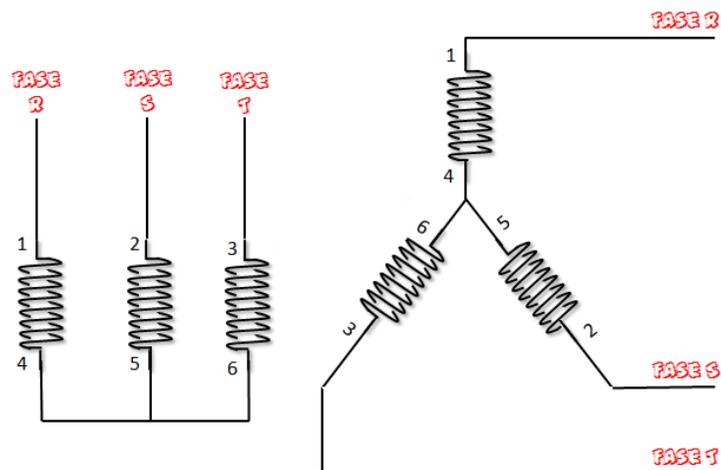


Figura 18: Ligação em estrela das bobinas do motor trifásico 6 terminais. .
 Fonte: Disponível em: < <http://www.saladaeletrica.com.br/comandos-eletricos/fechamento-motor-6-pontas/> >, acesso em 20/11/12.

Na ligação destinada à rede de 220 volts seus terminais são ligados em triângulo (baixa rotação). Já na ligação em 380 volts temos a interligação dos terminais na configuração estrela (alta rotação). De um modo geral as bobinas do motor trifásico suportam no máximo 220 volts cada uma e ligação estrela vai proporcionar uma tensão maior que a tensão triângulo.

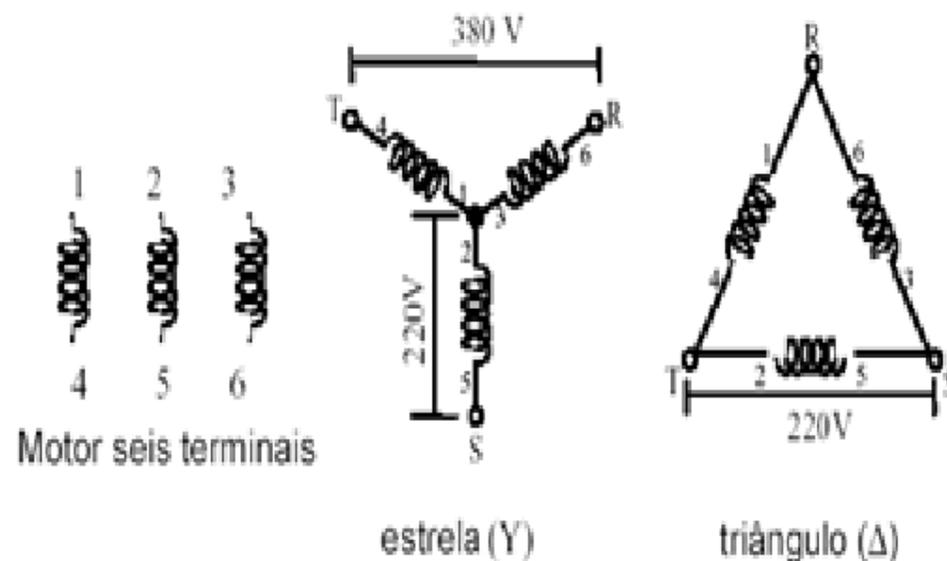


Figura 19: Ligação das bobinas do motor trifásico 6 terminais em 220/ 380 volts. Fonte: Disponível em: < <http://quadroeletrico.blogspot.com.br/2010/08/motores-eletricos-trifasicos.html> >, acesso em 20/11/12.

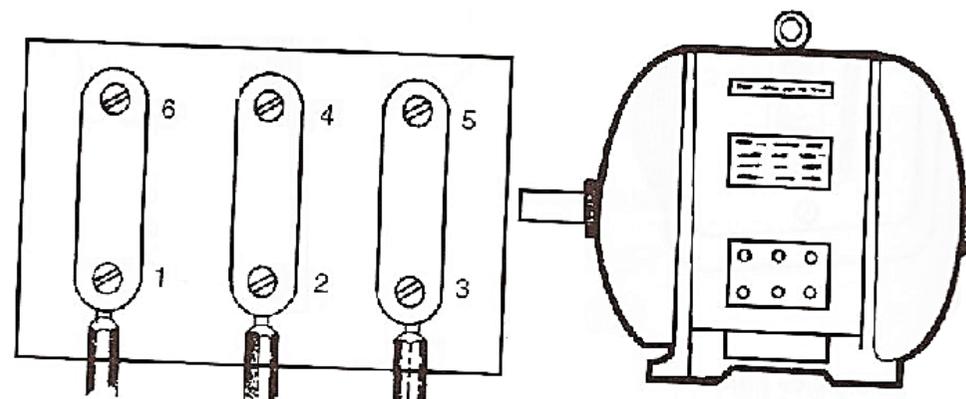


Figura 20: Motor trifásico 6 terminais em 220 volts (triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

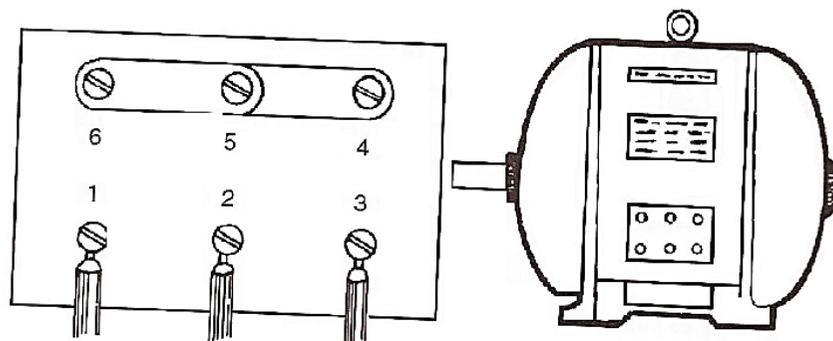


Figura 21: Motor trifásico 6 terminais em 380 volts (estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Interligação das bobinas na ligação estrela e triângulo:

I. Estrela:

- Terminais 1, 2 e 3 curto-circuitados
- Fases R, S e T são injetadas nos terminais 4, 5 e 6. (A tensão em cada bobina é de 220 V e a tensão entre fases é de 380 Volts).

II. Triângulo:

- Terminais interligados: 1 e 6; 2 e 4; 3 e 5.
- Alimentação: Fase R nos terminais 1 ou 6; Fase S nos terminais 2 ou 4; Fase T nos terminais 3 ou 5. (A tensão em cada bobina é de 220 V e a tensão entre fases é de 220 Volts.).

c) Motor 3 ϕ de nove terminais

Também designada de ligação série-paralelo, corresponde ao tipo de ligação na qual o enrolamento de cada fase é dividido em duas partes.

Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão de fase nominal do motor. Caso as duas metades sejam interligadas em paralelo o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual à metade da tensão anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina.

A tensão nominal dupla mais usual é 220/440 volts.

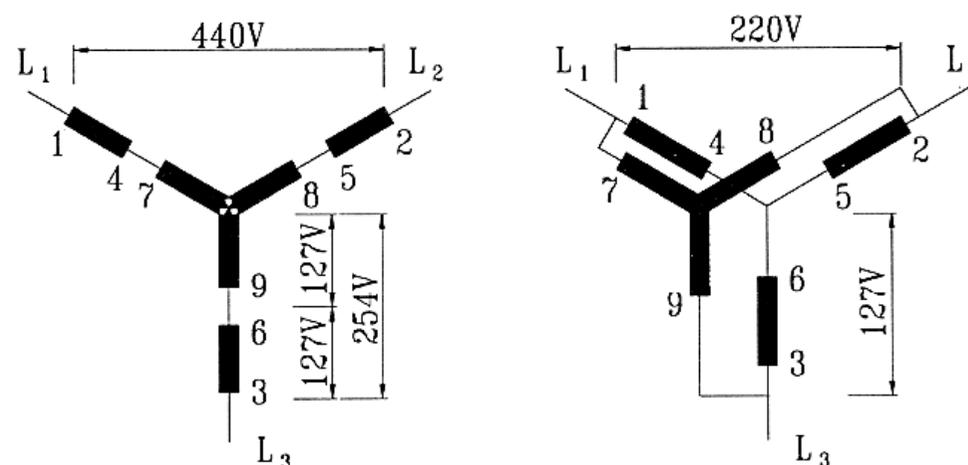


Figura 22: Interligação das bobinas em estrela do motor trifásico 9 terminais em uma rede de 440 volts (estrela série) e em rede de 220 volts (estrela paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.

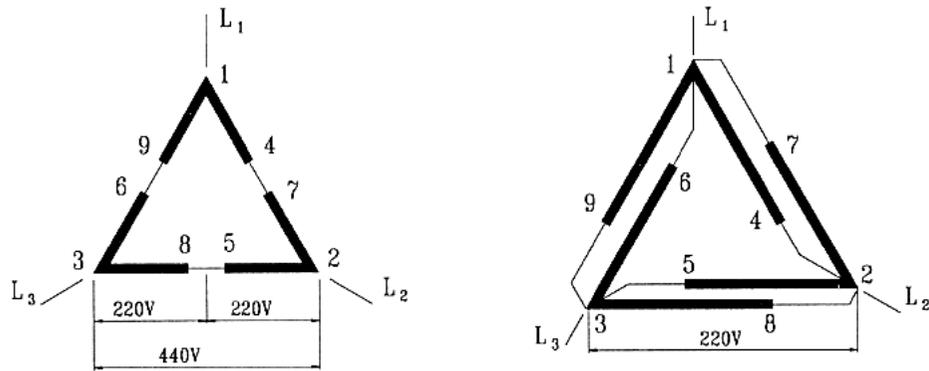


Figura 23: Interligação das bobinas em triângulo do motor trifásico 9 terminais em uma rede de 440 volts (triângulo série) e em rede de 220 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.

d) Motor 3φ de doze terminais

São mais associados a finalidades específicas uma vez que proporcionam ligação em redes de 220, 380, 440 e 760 volts dependendo da interligação conveniente de seus terminais. As possíveis conexões são:

- i. Ligação duplo triângulo ou triângulo-paralelo: 220 volts entre as fases e entre as bobinas.

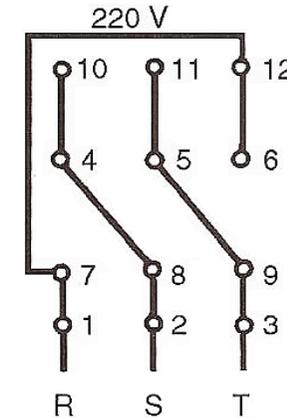


Figura 24: Motor trifásico 12 terminais em 220 volts (duplo triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

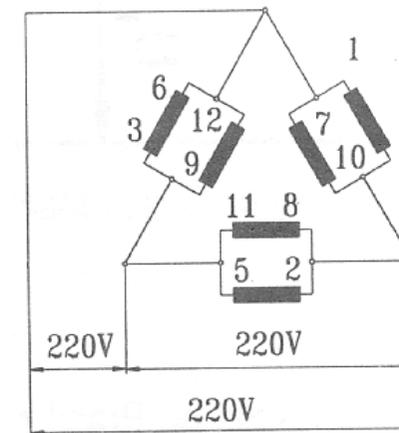


Figura 25: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 220 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.

- ii. Ligação dupla estrela ou estrela-paralela: 380 volts entre fases e 220 volts em cada bobina (fase- neutro: centro da estrela).

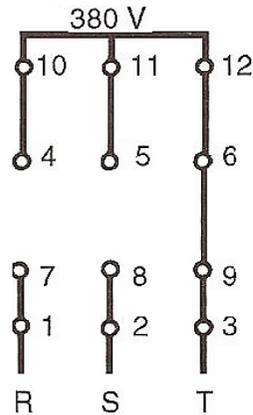


Figura 26: Motor trifásico 12 terminais em 380 volts (dupla estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

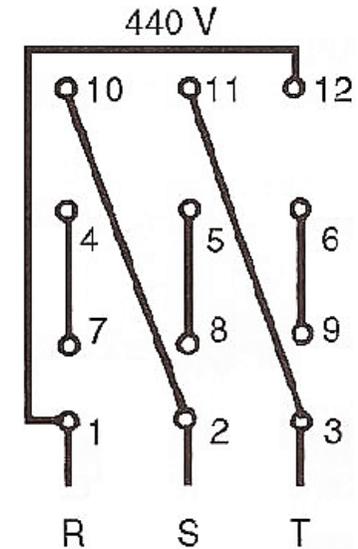


Figura 28: Motor trifásico 12 terminais em 440 volts (série triângulo). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

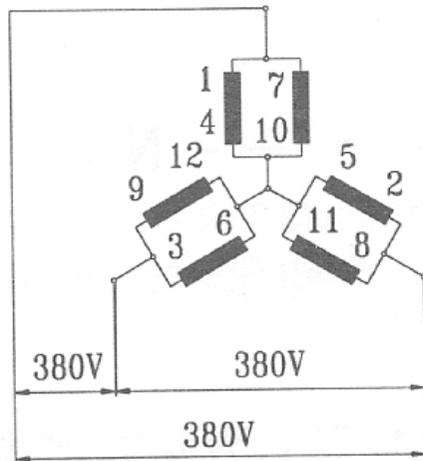


Figura 27: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 380 volts (triângulo paralelo). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.

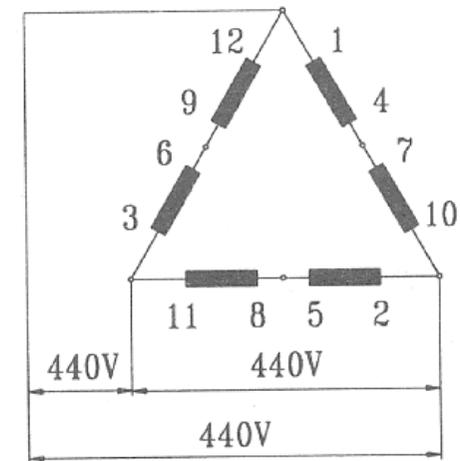


Figura 29: Interligação das bobinas do motor trifásico 12 terminais em uma rede de 440 volts (triângulo série). Fonte: Weg Indústrias S.A. Centro de Treinamento de Clientes: Módulo 1- Comando e Proteção.

- iii. Ligação triângulo-série: 440 volts entre fases e 220 volts em cada bobina (entre a fase e ponto de interligação de cada bobina).

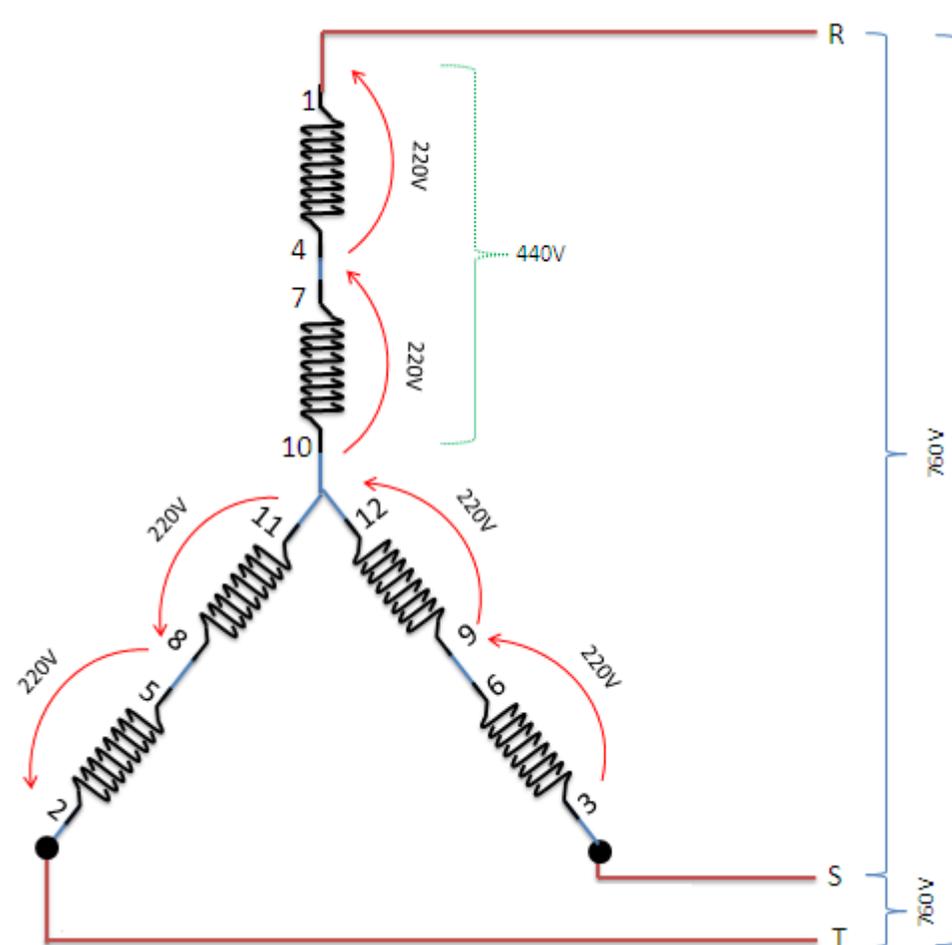
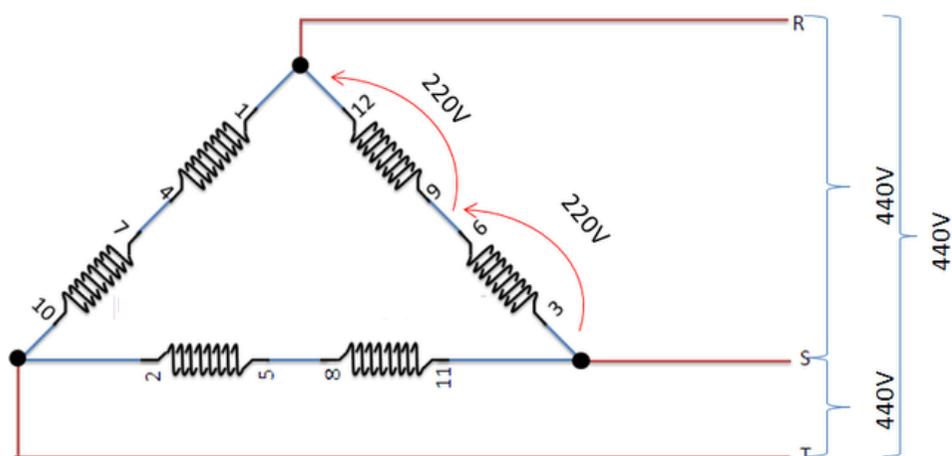


Figura 30: Ligação em triângulo série das bobinas do motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < http://saladaeletrica.blogspot.com.br/2011/11/motor-eletrico-trifasico-de-12-pontas_23.html >, acesso em 20/11/12.

iv. Ligação estrela-série: 760 volts¹¹ entre fases e 220 volts em cada bobina (440 volts entre a extremidade da última bobina e o centro da estrela).

Figura 31: Ligação em estrela série das bobinas do motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < http://saladaeletrica.blogspot.com.br/2011/11/motor-eletrico-trifasico-de-12-pontas_23.html >, acesso em 20/11/12.

¹¹Este nível de tensão não é utilizado comercialmente, sendo seu uso sendo limitado apenas a partida do motor.

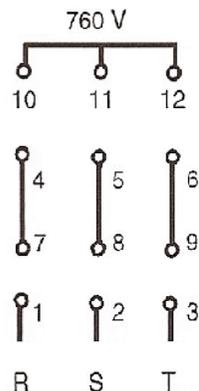


Figura 32: Motor trifásico 12 terminais em 760 volts (série estrela). Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Tabela 2: Número de polos x velocidades. Fonte: Elaborado pelo autor.

Número de Polos	Velocidades
2 polos	3600 RPM
4 polos	1800 RPM
8 polos	900 RPM

6. Rendimento do Motor

Expressão que relaciona as potências de entrada e saída dos motores. Em geral a potência de saída é uma potência mecânica enquanto a potência de entrada trata-se de uma potência elétrica.

Abaixo são apresentadas as expressões matemáticas correspondentes:

$$\eta = \frac{P_{Mecanica}}{P_{Elétrica (Watts)}}$$

$$\eta(\%) = \frac{736 \times P_{Mecanica}}{\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \sigma} \times 100$$

7. Placa de Identificação do Motor

Elemento que contém símbolos e valores que determinam as características nominais de funcionamento e desempenho do motor.

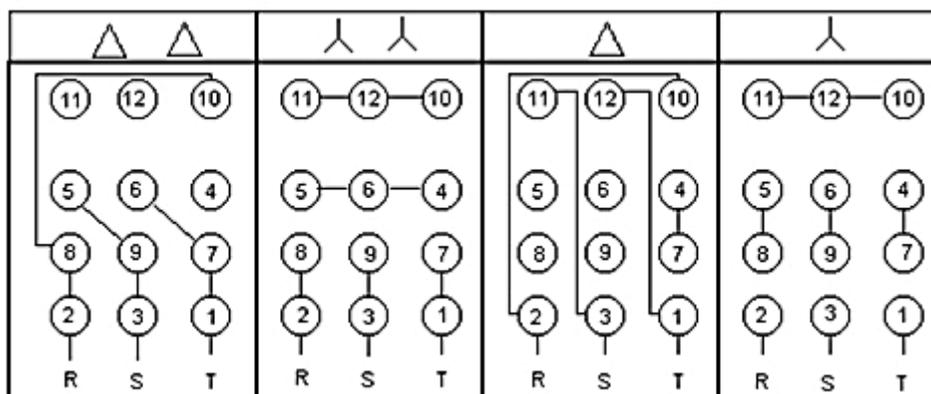


Figura 33: Fechamentos para motor trifásico 12 terminais. Fonte: Disponível em: < <http://www.triangulobombas.com.br/motor-eletrico.php> >, acesso em 20/11/12.

5. Número de Pólos e Velocidades

Para exemplificar apresentamos uma relação entre o número de pólos do motor e respectivas velocidades.

Normalmente são confeccionadas em material resistente as intempéries associadas ao local onde o motor vai funcionar. Em geral são fixadas na carcaça do motor em local que permita uma fácil visualização.

Suas características são normatizadas pela NBR 7094 que define os dados principais que devem constar na mesma.

São exemplos de dados grafados na placa:

- a. Modelo;
- b. Nome do fabricante;
- c. Corrente nominal (A);
- d. Classe de isolamento (ISOL);
- e. Frequência (Hz);
- f. Velocidade¹² (RPM);
- g. Categoria do conjugado (CAT);
- h. Grau de proteção (IP);
- i. Potência (CV, HP ou KW);
- j. Tensão nominal (V);
- k. Fator de serviço (FS);
- l. Regime de serviço (S₁, S₂, S₃);
- m. Relação de corrente de partida/corrente nominal (I_P/I_N);
- n. Diagrama de ligação (Y-Δ).

As classes de temperatura de isolamento ou simplesmente classe de isolamento¹³ são definidas em função do limite de temperatura ao qual o conjunto de materiais que constituem

¹² Refere-se a velocidade medida a plena carga.

¹³ A isolamento está associada a aspectos qualitativos como, por exemplo, a qualidade do material. Ex.: isolamento de PVC.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

o isolamento¹⁴ pode suportar continuamente sem prejudicar sua vida útil.



Figura 34: Placa de identificação de motor fabricante Metalcorte. Fonte: Disponível em: < <http://www.preciolandia.com/br/motor-eletrico-monofasico-3-cv-3500-rpm-736fte-a.html> >, acesso em 20/11/12.

¹⁴ O isolamento está associado com quantitativos. Ex.: luva de electricista com isolamento de 1000 volts.

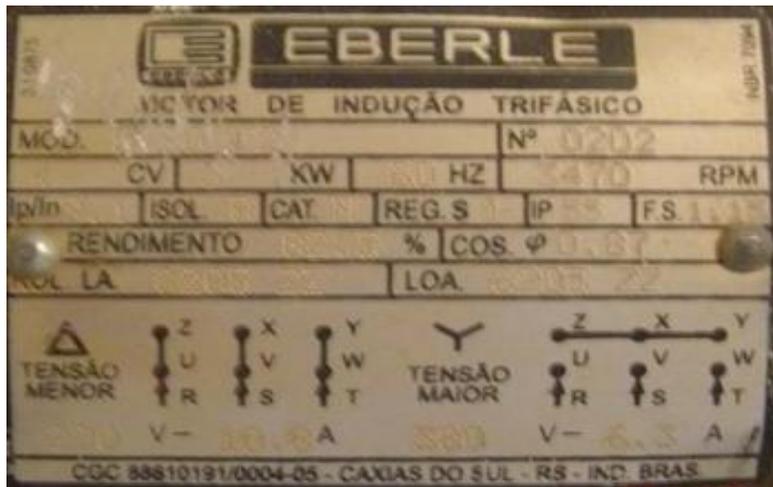


Figura 35: Placa de identificação de motor fabricante Eberle. Fonte: Disponível em: < <http://campinas.olx.com.br/motor-eletrico-de-inducao-trifasico-eberle-iid-107427084> >, acesso em 20/11/12.

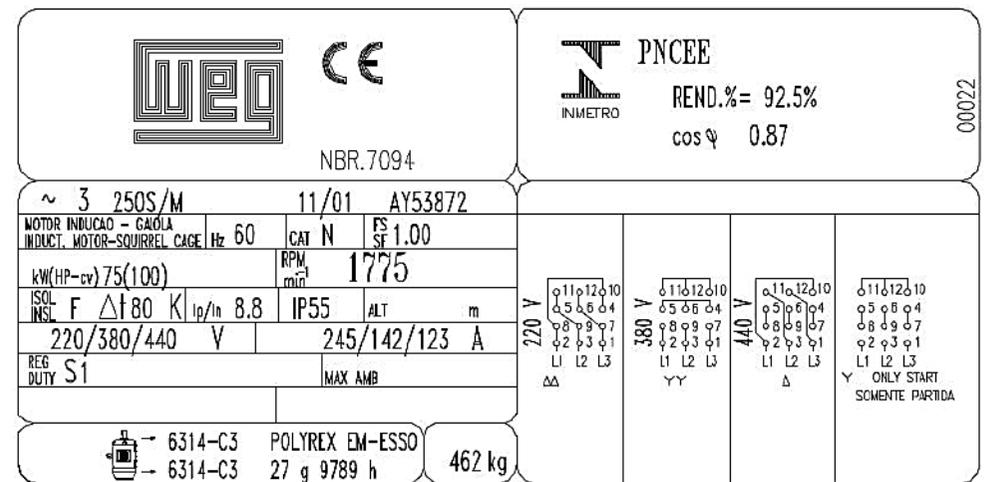


Figura 37: Placa de identificação de motor trifásico fabricante WEG. Fonte: Disponível em: < <http://dc383.4shared.com/doc/EnDPTBiV/preview.html> >, acesso em 20/11/12.

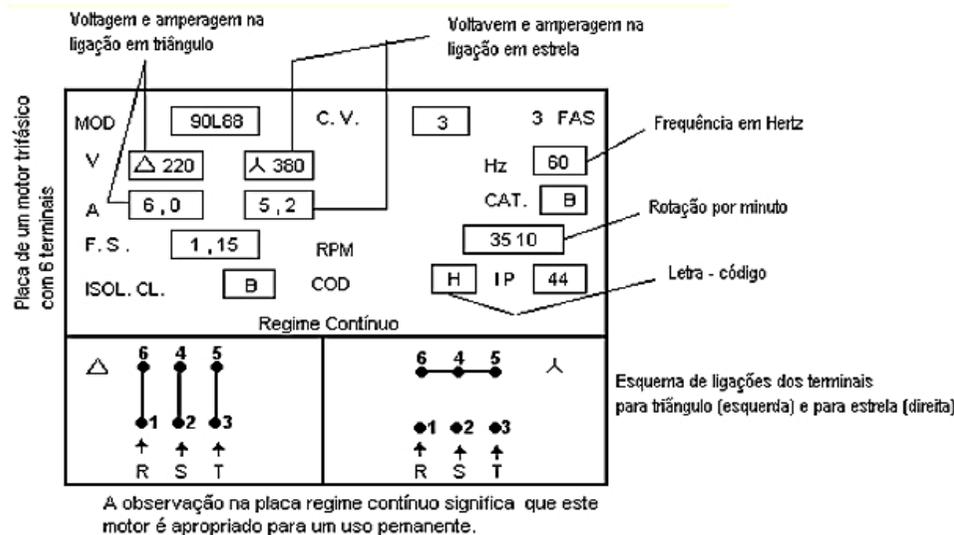


Figura 36: Detalhamento dos elementos da placa de identificação de motor. Fonte: Disponível em: < <http://www.triangulobombas.com.br/motor-eletrico.php> >, acesso em 23/11/12.

Prof. Eng. Denny Alves, Msc.

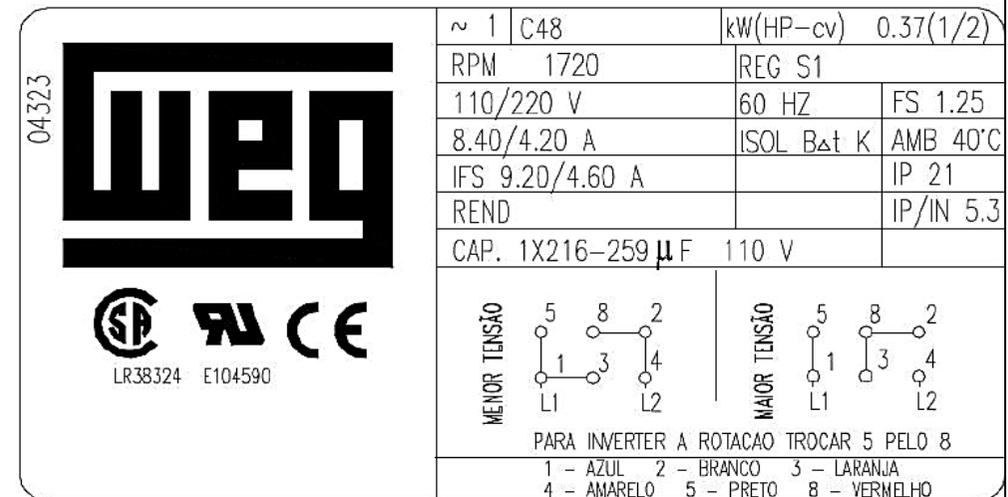


Figura 38: Placa de identificação de motor monofásico fabricante WEG. Fonte: Disponível em: < <http://dc383.4shared.com/doc/EnDPTBiV/preview.html> >, acesso em 23/11/12.

8. Dispositivos Básicos Utilizados Em Acionamentos Elétricos

De um modo geral os circuitos de força são normalmente comandados por chaves magnéticas automáticas responsáveis por desligar e parar as cargas, além de estarem associados aos dispositivos de proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos.

As chaves magnéticas possuem internamente bobinas que quando alimentadas com sua tensão nominal alteram o estado de seus contatos principais e auxiliares. As bobinas ou indutores são dispositivos constituídos por um fio esmaltado enrolado em torno de um núcleo de ferro, ferrite ou ar.

Em geral os dispositivos de proteção que fazem uso de chaves magnéticas não atuam para sobrecorrentes com valores de 1 á 4 vezes o valor de sua corrente nominal, desde que estas não tenham duração máxima superior a 2 segundos. Falhas de duração superior a este patamar de tempo podem trazer prejuízo ao motor, logo o circuito deve ser instantaneamente seccionado.

8.1. Contactor

A partida de motores trifásicos com rotor tipo gaiola faz uso de um dispositivo eletromecânico denominado de contator (ou contactor). Tal dispositivo proporciona a possibilidade de através de baixos valores de corrente de um circuito auxiliar de comando acionarmos cargas elétricas de elevada corrente tais como motores elétricos industriais.

São dimensionados para suportar a intensidade de corrente para o qual foi especificado com elevada frequência de operação.

Algumas das vantagens destes dispositivos são:

- a. Possibilidade de acionar cargas elétricas remotamente e de locais diferentes.
- b. Possibilidade de liberdade de projeto e montagem de variados tipos de comandos elétricos para variados tipos de aplicações.
- c. Podem ser integrados ou funcionar em conjunto com dispositivos de proteção tais como relés térmicos.
- d. Dimensões reduzidas proporcionando montagens compactas.
- e. Resistência mecânica e elétrica compatível com elevado número de manobras.
- f. Prevenção de incêndios ou acidentes por possuírem internamente uma câmara de extinção de arcos elétricos.

Os elementos básicos de um contactor são:

A. Carcaça ou corpo isolante

Acondiciona todos os componentes internos, sendo constituída de material isolante que oferece alta resistência elétrica e mecânica.

B. Bobina

Elemento destinado a criar o campo magnético responsável por fazer movimentar-se os componentes móveis do contactor.

Consiste em um indutor de múltiplas espiras enroladas em torno de um carretel isolante. Quando percorridas por corrente elétrica produzem um campo magnético.

Nos diagramas é identificada pela letra "A" associada aos algarismos 1 e 2.

C. Núcleo magnético

Concentra as linhas de força do campo magnético criado pelas bobinas evitando sua dispersão. Constituído por lâminas sobrepostas e isoladas entre si.

D. Contatos fixos e moveis

Componente através do qual a corrente elétrica é estabelecida ou interrompida. Em sua fabricação são utilizados ligas de prata tais como oxido de cadmio-prata.

E. Suporte dos contatos móveis

F. Molas interruptoras

G. Câmara de extinção de arcos.

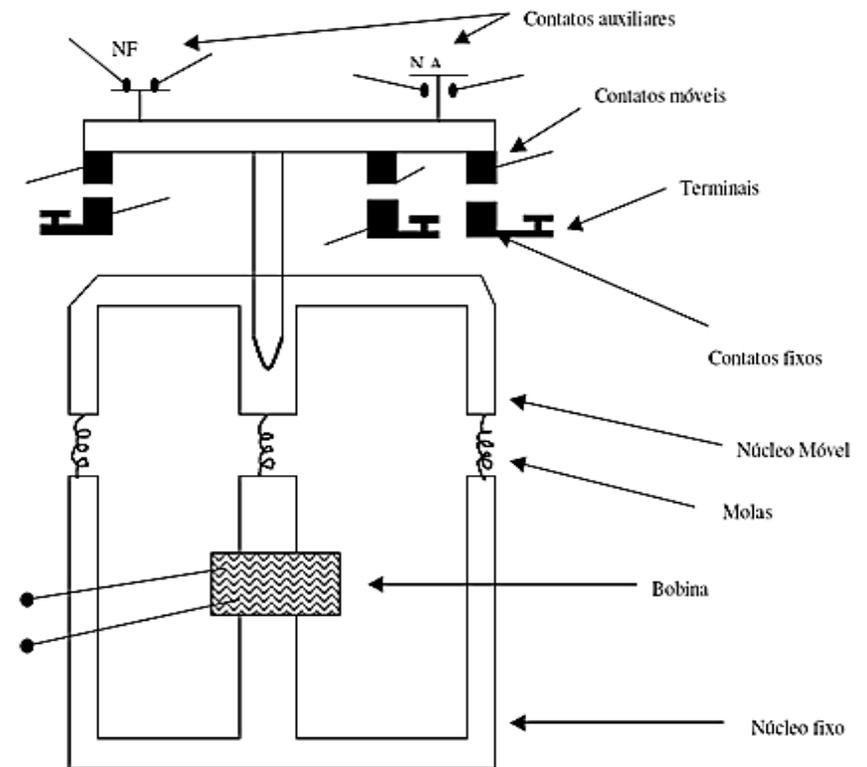


Figura 39: Princípio de funcionamento do contactor. Fonte: Disponível em: < <http://www.refrigeracao.net/Topicos/contactores.htm> >, acesso em 23/11/12.

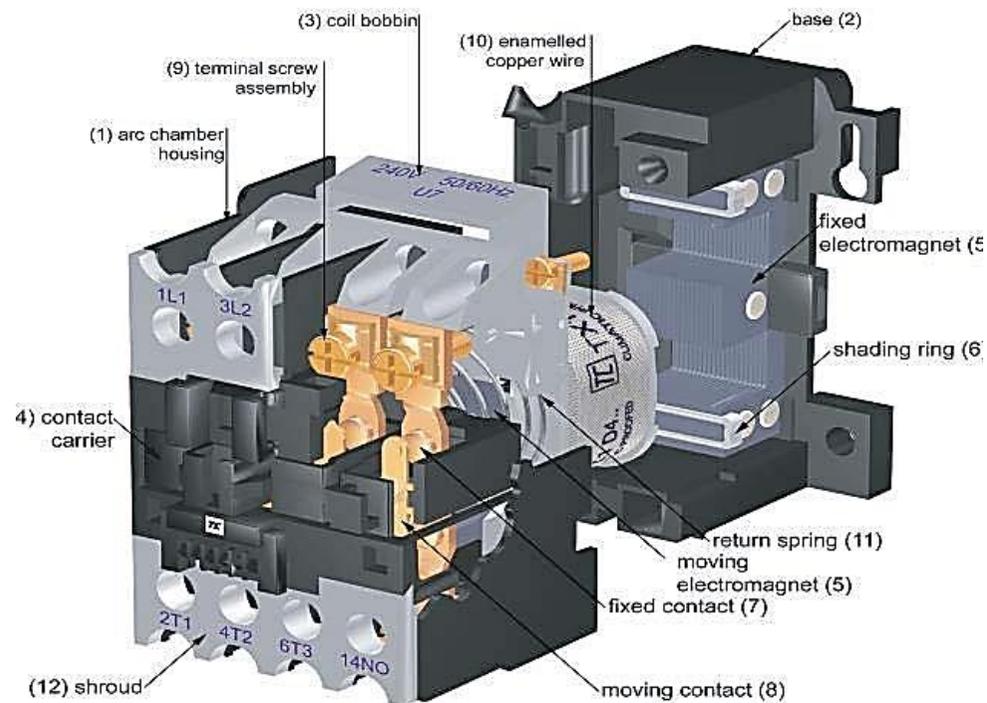


Figura 40: Elementos construtivos do contactor. Fonte: Disponível em: <
<http://dircasa-calora.blogspot.com.br/2011/10/el-contactor.html>>, acesso em 23/11/12.



Figura 41: Contactor fabricante Korlen. Fonte: Disponível em: <
<http://korlen168.en.made-in-hina.com/productimage/MbInUcDBgiVE-2f0j00veWarqjHV0Q/China-Siemens-Contactor-3TF40.html>>, acesso em 23/11/12.



Figura 42: Contactor fabricante Moeller. Fonte: Disponível em: < http://www.moeller.net/en/products_solutions/motor_applications/switch_protect/mini_contactor_relays/index.jsp >, acesso em 23/11/12.

8.2. Relés de Proteção

Em geral são classificados quanto ao seu princípio de funcionamento em: relés térmicos e relés magnéticos.

Permitem um ajuste de calibragem ou sensibilidade para melhor adequação aos diversos tipos de motores.

Os critérios de especificação de um relé são dentre outros:

- Potência do motor a ser protegido;
- Tensão da rede de alimentação;
- Frequência da rede;
- Regulagem do elemento térmico.

Ex: Relé para acionamento de motores de 4 á 8,5 cv / 220 v / 60 Hz. Quando interligado a motor de 5 cv de $I_N = 15$ A deve ser regulado em 18,75 A.

8.2.1. Relé Térmico de Sobrecarga

Dispositivo de proteção de motores elétricos contra os efeitos de sobrecarga. Atua em função do efeito térmico associado às correntes de sobrecarga.

Internamente possuem lâminas bimetálicas¹⁵ que se deformam proporcionalmente ao aumento da temperatura nos circuitos. Permitem um ajuste da sensibilidade, rearme automático e rearme manual, todos disponibilizados na porção frontal do dispositivo.

De modo análogo aos contactores os relés térmicos são constituídos por contatos principais (circuito de força) e contatos auxiliares (circuito de comando), que podem ser normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF).

O dimensionamento destes dispositivos pode ser efetuado via softwares específicos disponibilizados pelos fabricantes ou a partir da análise de suas curvas características retiradas dos catálogos e manuais dos fabricantes.

Qualquer sobrecorrente no circuito vai fazer com que as lâminas bimetálicas do rele térmico se dilatam abrindo seu contato de segurança.

¹⁵ Dois metais de coeficientes de dilatação diferentes.



Figura 43: Rele térmico fabricante Telemecanique. Fonte: Disponível em: <
http://hpindustrialperu.com/hp_industrial_por_categorias.php?pag=8&c=2
 >, acesso em 23/11/12.



Figura 44: Rele térmico fabricante Siemens. Fonte: Disponível em: <
<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-441779156-rele-termico-siemens-sirius-JM>
 >, acesso em 23/11/12.

8.3. Chave-Bóia

Modalidade de interruptor automático destinado a controlar o nível de água ou outro fluido dentro de um tanque ou local análogo.

Podem ser do tipo superior ou inferior. Exemplo: chaves bóias para controlar o fluxo de água entre os reservatórios superior e inferior dos edifícios.



Figura 45: Chave boia convencional. Fonte: Disponível em: <
<http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/>
 >, acesso em 23/11/12.



Figura 46: Chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: <
<http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/>
 >, acesso em 23/11/12.

Instalação Simplificada:

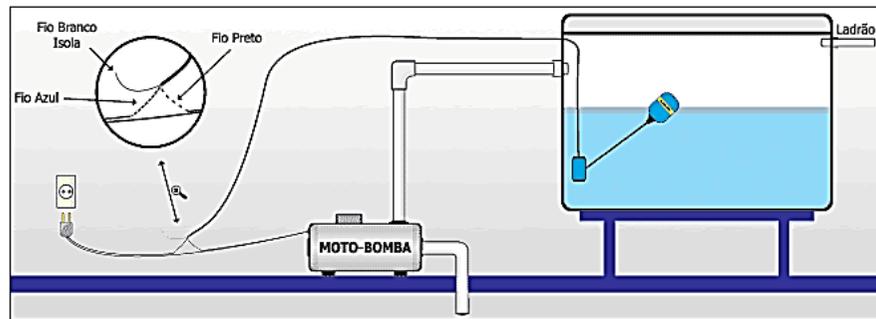


Figura 47: Exemplo aplicação da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/boia-eletrica-como-funciona/> >, acesso em 23/11/12.

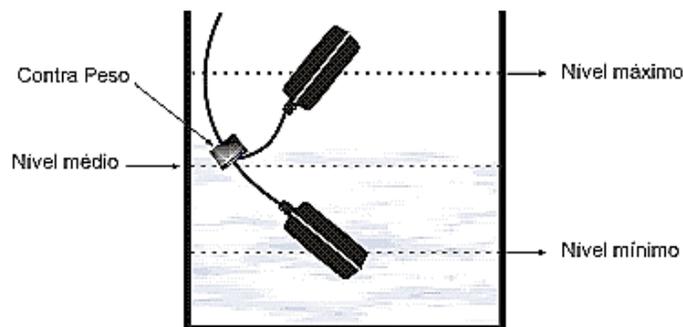


Figura 48: Exemplo controle de nível máximo e mínimo com uso de chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12.



Figura 49: Exemplo de ajuste do nível máximo e mínimo da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12.

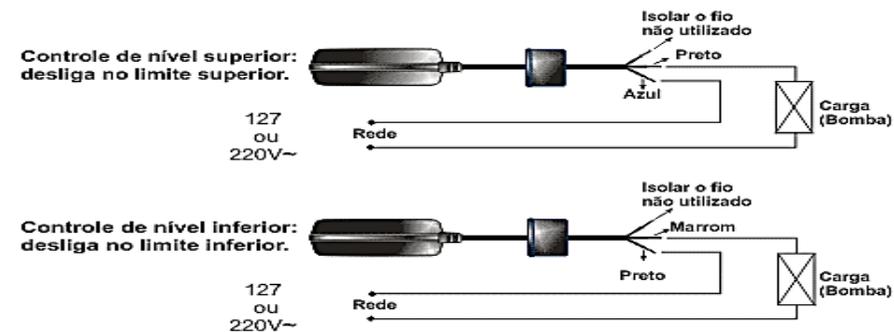


Figura 50: Ligação elétrica da chave boia com contrapeso. Fonte: Disponível em: < http://www.margirius.com.br/manual_cb.aspx >, acesso em 23/11/12.



Figura 51: Reservatório utilizando chave boia superior e inferior com contrapeso. Fonte: Disponível em: < <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-237772144-chave-boia-25amp-ferpi-boia-de-nivel-p-acionamento-JM> >, acesso em 23/11/12.

8.4. Disjuntor Motor

Também denominado de disjuntor industrial. Corresponde a um dispositivo de manobra e proteção destinado a comandar e proteger contra sobrecargas os motores elétricos.

Sua principal diferença quando comparado com os disjuntores residenciais é o fato de que permite o ajuste da corrente a carga que deseja-se proteger.

É dimensionado e fabricado para suportar transientes de cargas, principalmente elevações acentuadas de corrente durante a partida de motores elétricos.

Outra grande vantagem reside no fato de que os disjuntores motores além de possuírem os elementos térmicos e magnéticos comuns a todas as modalidades de disjuntores possuem ainda a possibilidade de serem interligados a relés de subtensão (bobina de mínima tensão) destinados a interromper a passagem de corrente durante uma possível queda ou falta de energia, não danificando o motor ou outros equipamentos protegidos por ele.

Outro possível acessório conectado ao disjuntor motor é o rele de impulso que quando acoplado mecanicamente ao disjuntor motor permite ligar ou desligar o mesmo remotamente. Com os relés de subtensão e de impulso interligados ao disjuntor motor o mesmo deixa de obedecer às suas teclas frontais.



Figura 52: Disjuntor motor fabricante Metaltex, modelo: DM2-80A. Fonte:

Disponível em: <

http://www.digel.com.br/novosite/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=48&category_id=16&option=com_virtuemart&Itemid=73>, acesso em 23/11/12.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.



Figura 53: Disjuntor motor fabricante WEG, modelo: MPW16. Fonte: Disponível em: < <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-438015937-disjuntor-motor-weg-JM> >, acesso em 23/11/12.

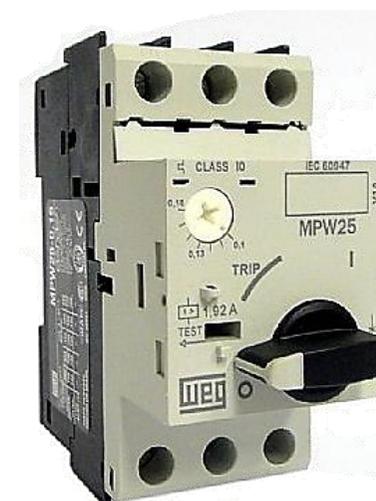


Figura 54: Disjuntor motor fabricante WEG, modelo: MPW25. Fonte: Disponível em: < <http://matelbastos.com.br/produto/Disjuntor-Motor-MPW25%252d20-%2816%252d20A%29-Weg.html> >, acesso em 23/11/12.

8.5. Fusíveis

Protegem as instalações elétricas (no caso dos quadros de comando sua fiação) contra curto circuitos e sobrecargas de longa duração.

São constituídos de um material condutor denominado de elo fusível ou elo de fusão, interligado a dois contatos destinados a ligação nos demais dispositivos do quadro de comando.

Podem ser divididos basicamente em 3 elementos:

- a) Contatos;
- b) Corpo isolante;
- c) Elo fusível.

Os contatos destinam-se a promover a conexão dos fusíveis com os demais dispositivos do painel elétrico. O principal material utilizado na sua fabricação é o cobre prateado ou latão.

A principal recomendação de manutenção corresponde a monitorar o estado dos contatos protegendo os mesmo contra oxidação e mau contato (folgas).

O corpo isolante serve de invólucro para o elo fusível. Os mais comumente encontrados são de cerâmica ou porcelana¹⁶. São bons isolantes elétricos, não absorvem umidade e tem boa resistência mecânica.

Por último os elos fusíveis são constituídos de materiais condutores de baixo ponto de fusão. Sua principal função é

efetivamente interromper a passagem de corrente elétrica através de sua fusão. Podem ter formatos diversos sendo os mais comuns o formato de fio e formato de lâmina.

Outra classificação dos fusíveis leva em consideração o tempo de fusão dos mesmos, sendo divididos em:

- a) Fusíveis de ação rápida ou normal;
- b) Fusíveis de ação ultra rápida;
- c) Fusíveis de ação retardada.

São especificados em função de sua corrente nominal, sua tensão nominal e sua capacidade de ruptura.

No caso de painéis elétricos diversos e CCM's¹⁷ os tipos de fusíveis mais comumente encontrados são os fusíveis tipo diazed e tipo NH.

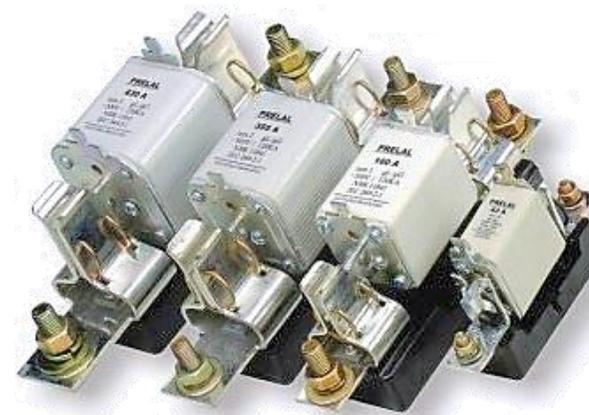


Figura 55: Fusível NH encaixado na base. Fonte: Disponível em: <http://www.hifusi.com.br/fusivel_NH.php>, acesso em 23/11/12.

¹⁶ Em aplicações mais sofisticadas encontram-se fusíveis com corpo isolante constituído por um material intitulado esteatita de características isolantes superiores a porcelana.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

¹⁷ Centro de controle e comando de motores.



Figura 56: Fusíveis NH de amperagens e tamanhos distintos. Fonte: Disponível em: < <http://www.spooeletrica.com.br/fusiveis.php> >, acesso em 23/11/12.

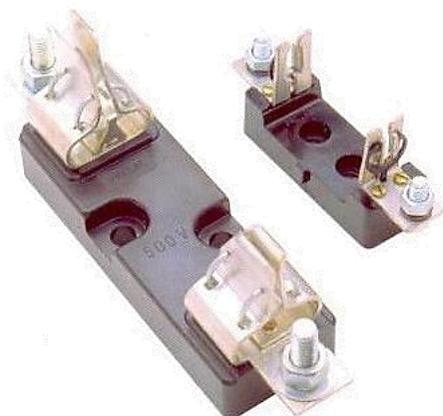


Figura 57: Base para fusíveis NH. Fonte: Disponível em: < <http://www.hifusi.com.br/produtos.php> >, acesso em 23/11/12.



Figura 58: Punho destinado a extrair fusíveis NH. Fonte: Disponível em: < https://ssl461.websiteseuro.com/enselli/interna.asp?cipdt=10720&codigo_departamento=4&codigo_categoria=0&codigo_subcategoria=0 >, acesso em 23/11/12.



Figura 59: Conjunto de proteção diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.industry.siemens.com.br/buildingtechnologies/br/pt/produtos-baixa-tensao/protecao-eletrica/fusiveis/silized/pages/silized.aspx> >, acesso em 23/11/12.



Figura 60: Elementos de um conjunto de proteção diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.spooeletrica.com.br/fusiveis.php> >, acesso em 23/11/12.



Figura 61: Base para fusível diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6140-base-unipolar-para-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12.



Figura 62: Chave para parafuso de ajuste do fusível diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6144-chave-para-parafuso-de-ajuste-do-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12.



Figura 63: Anel de proteção para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6141-anel-de-protecao-para-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12.



Figura 64: Tampa de proteção para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6153-tampa-de-protecao-para-fusivel-diazed> >, acesso em 23/11/12.



Figura 65: Parafuso de ajuste para conjunto diazed. Fonte: Disponível em: < http://www.verdolineletrica.com/category.php?id_category=38 >, acesso em 23/11/12.



Figura 66: Base trifásica para fusível diazed. Fonte: Disponível em: < <http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/equipamentos-industriais/outs-equipamentos-industriais/base-tripolar-para-fusivel-diazed-433756> >, acesso em 23/11/12.

8.6. Chave Auxiliar Fim de Curso

Dispositivo de acionamento mecânico muito utilizado em circuitos de comando com o objetivo de comandar contactores, relés, circuitos de sinalização dentre outros.

São também denominados de interruptores de posição uma vez que são utilizados também para partida e parada de motores em pontos prefixados do ciclo de operação.

Como consequência de suas inúmeras vantagens tais como transmissão de sinais associados com presença/ausência, de posicionamento, de fim de curso dentre outras são muito utilizadas em instalações industriais automatizadas.

Se adequam aos diversos tipos de aplicações mediante a seleção adequada do seu cabeçote.

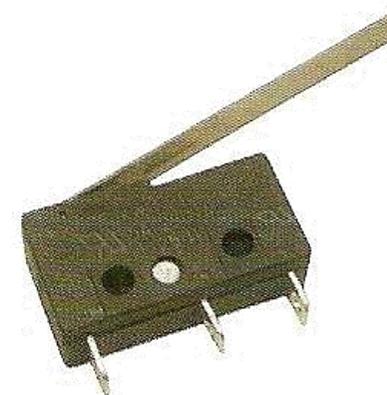


Figura 67: Chave auxiliar fim de curso. Fonte: Disponível em: < <http://www.rosseletronica.com/chavediv.htm> >, acesso em 23/11/12.

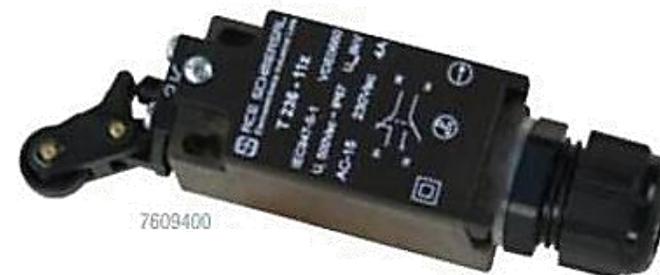


Figura 68: Chave auxiliar fim de curso com cabeçote de rolete. Fonte: Disponível em: < <http://www.cimm.com.br/portal/produtos/exibir/6078-chave-fim-de-curso-com-caixa-de-nylon> >, acesso em 23/11/12.

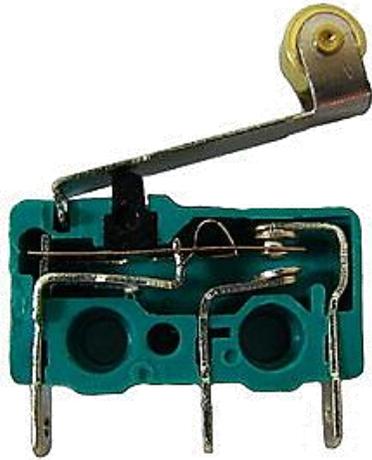


Figura 69: Constituição interna da chave auxiliar fim de curso. Fonte: Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Chave_fim_de_curso >, acesso em 23/11/12.

9. Sistemas de Partida de Motores

O dimensionamento dos dispositivos de comando e proteção de um motor elétrico é fundamentado nas curvas de conjugado e corrente associadas ao tipo de motor em análise.

Em geral mantendo-se constante a tensão de alimentação do motor as curvas de conjugado e corrente do referido motor permanecem fixas.

Os sistemas de partida dos motores elétricos têm por finalidade básica garantir que a corrente de partida do motor não seja elevada demasiadamente podendo ocasionar consequências prejudiciais à rede de alimentação ou ao circuito do próprio motor.

Determinados tipos de motores conectados diretamente a rede elétrica, durante o transcorrer de seu tempo de partida, podem ter sua corrente nominal excedida de 4 a 12 vezes. No caso de motores de baixa potência os picos de corrente associados a sua partida não trazem consequências relevantes a rede de alimentação.

As chaves de partida são recursos destinados a diminuir o pico de corrente durante a partida dos motores de potência elevada, reduzindo sua tensão no instante da partida.

Outras funções essenciais das chaves de partida são:

- a) Conexão e desconexão do motor a rede de alimentação;
- b) Comando e controle das características de desempenho durante a partida como, por exemplo: velocidade, conjugado, potência, corrente, dentre outras.

Correntes de partida elevadas podem ocasionar dentre outras consequências:

- a) Elevada queda de tensão na rede de alimentação da concessionária provocando interferências nos demais equipamentos ou consumidores interligados a rede¹⁸;

¹⁸ A comparação entre a leitura das correntes medidas nas três fases antes e após o funcionamento do motor permite visualizar o desequilíbrio causado pelo motor na rede elétrica.

- b) Superdimensionamento dos condutores, dispositivos de comando e proteção e demais acessórios, ocasionando um elevado custo desnecessário;
- c) Multas por parte da concessionária distribuidora de energia uma vez que estas estabelecem limites máximos para a queda de tensão da rede. As companhias exigem o emprego de dispositivos especiais para partida dos motores de indução com o intuito de minimizar os efeitos na sua rede.

A figura abaixo ilustra o procedimento de medição da corrente de partida de um motor de indução. Apresenta ainda o gráfico correspondente ao comportamento da corrente elétrica.

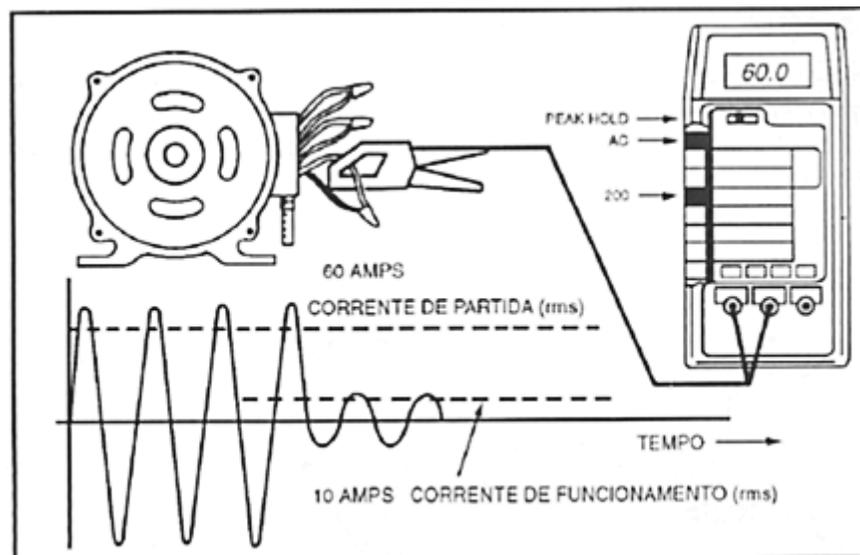


Figura 70: Exemplo medição corrente de partida de motores elétricos.

Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Os dispositivos de acionamento podem ser classificados como partida a plena tensão e partida com tensão reduzida. No primeiro caso temos as chaves de partida direta e no segundo teremos as chaves de partida indireta.

Quando os motores, em geral aqueles de potência superior a 7 CV, não podem ser acionados diretamente, devem ser utilizados sistemas de partida indireta que fazem uso de artifícios com o propósito de reduzir a corrente de partida.

Abaixo apresentamos alguns exemplos de chaves de partida indireta:

- a) Chave estrela-triângulo (Y- Δ);
- b) Chave compensadora;
- c) Chave série-paralelo (Y-- Y Y ou Δ - Δ Δ);¹⁹;
- d) Partida eletrônica (soft-stater).

As partidas com tensão reduzida são utilizadas em determinados tipos de cargas ou máquinas que necessitam de partidas suaves e acelerações gradativas, não suportando altos valores de conjugados produzidos na partida do motor a plena tensão.

As concessionárias distribuidoras de energia limitam a potência máxima para acionamento de máquinas através de partida direta em²⁰:

- a) Máquinas de 5 CV para alimentação em 220 volts.
- b) Máquinas de 7 CV para alimentação em 380 volts.

¹⁹ Utilizadas em motores de 12 terminais.

²⁰ Estes valores estão sujeitos a variações em função dos padrões de cada concessionária.

9.1. Circuitos de Força e Comando

Todos os sistemas de acionamento de motores são constituídos de dois circuitos básicos denominados de circuito de força e circuito de comando (também denominado de circuito de controle).

9.1.1. Circuito de Comando

Pelos circuitos de controle transitam correntes elétricas de baixa intensidade, em geral necessárias apenas para o acionamento das bobinas (responsáveis por abrir e fechar os contatos elétricos principais e auxiliares) e alimentação dos dispositivos de sinalização.

Sua operação esta condicionada ao funcionamento de botoeiras, chaves tipo bóia, pressostatos, termostatos, dentre muitos outros.

9.1.2. Circuito de Força

10. Chave de Partida Direta

Trata-se de um sistema de partida a plena tensão utilizada com chave de acionamento manual, logo devem ser utilizadas para pequenos motores. Em grandes complexos industriais são pouco utilizadas em virtude de suas limitações de potência.

Muito utilizada em motores trifásicos tipo gaiola por meio do uso de contactores.

10.1. Diagrama do Sistema de Partida Direta

a) Diagrama de força

b) Diagrama de comando

O sistema de partida é comandado por meio de uma botoeira liga-desliga. Ao acionarmos a botoeira liga, a bobina do contactor será alimentada provocando o acionamento dos contatos principais e auxiliares do referido contactor.

Instalado em paralelo com a botoeira liga²¹ temos o chamado contato de selo, responsável por manter o motor ligado mesmo após o operador retirar o dedo da botoeira. A qualquer instante o motor pode ser desligado ao ser pressionada a botoeira desliga uma vez que esta última ação vai provocar o seccionamento dos contatos principais (também denominados contatos de força) do contactor, visto que foi cortada a alimentação da bobina²².

Variações do circuito de comando fazem uso de lâmpadas vermelhas para indicar eventuais sobrecargas e lâmpadas verdes sinalizando que o motor está em

²¹ Variações deste circuito incluem acionamento via chave-bóia e outros dispositivos de acionamento automático.

²² Em sistemas não automatizados as faltas de energia também desarmam os contactores desligando o motor. O retorno da tensão da concessionária não provoca o acionamento automático do motor, sendo, portanto necessário à intervenção do operador.

funcionamento. Neste caso a lâmpada verde deve ser ligada após a botoeira liga e o contato de selo, em geral, em paralelo com a bobina. A lâmpada de sobrecarga é acionada pelo contato normalmente aberto(NA) do rele térmico.

10.2. Chave de Partida Direta Em Caixa Termoplástica

Comercialmente as partidas diretas são encontradas com seus dispositivos acondicionados em caixas termoplásticas, facilitando sua instalação em campo.

Em função do modelo tais caixas podem ser destinadas a ligação em motores monofásicos ou trifásicos.

Algumas características:

- a) Podem acionar motores dentro de uma ampla faixa de potências;
- b) Possuem dimensões reduzidas;
- c) Fácil instalação;
- d) Grau de proteção IP 52, dispensando o uso de painéis elétricos.

11. Sistema de Partida Direta Com Reversão

Este sistema de partida interliga seus dispositivos de modo a possibilitar a reversão do sentido de rotação no motor trifásico em plena marcha.

A reversão do sentido de rotação de um motor trifásico é executada através da troca de duas fases entre si. O sistema

de partida direta com reversão faz uso desta técnica, porém fazendo uso de dois contactores. Para invertermos o sentido de rotação do motor devemos primeiro desligá-lo para posteriormente invertê-lo. A mudança instantânea do sentido de rotação do eixo do motor pode provocar um “tranco” que danificaria possíveis cargas (ex: engrenagens) ligadas ao eixo do motor. Acionando o contactor 1 temos a partida direta, acionando o contactor 2 teremos a partida reversa.

A lógica de funcionamento baseia-se nesta configuração:

- a) No primeiro contactor são conectados os cabos com a sequência de fase normal;
- b) No segundo contactor temos dois cabos trocados (fases trocadas);
- c) Para minimizar a possibilidade de um curto circuito fase-fase temos um intertravamento entre os contactores.

A reversão instantânea pode ser obtida fazendo uso de comando por botoeiras ou de chaves fim de curso.

11.1. Intertravamento

Em comandos elétricos vai corresponder ao processo de interligação entre os contatos auxiliares dos dispositivos, fazendo com que as posições e operação desses dispositivos se tornem dependentes entre si. O intertravamento visa garantir que os contactores responsáveis pela reversão não sejam simultaneamente ligados.

O intertravamento pode ser dividido em: elétrico ou mecânico.

- a) Intertravamento mecânico;

O intertravamento mecânico é executado por meio de um dispositivo denominado balancim (semelhante a uma gangorra). Tal dispositivo corresponde a uma espécie de régua posicionada sobre um apoio responsável por garantir que apenas um dos contactores estará acionado por vez.

Quando um dos contactores é acionado o mesmo atua no extremo do balancim fazendo com que a outra extremidade impeça o acionamento do contactor oposto.

Na montagem com balancim os contactores são posicionados lado a lado formando um único conjunto compacto, semelhante a uma peça única.

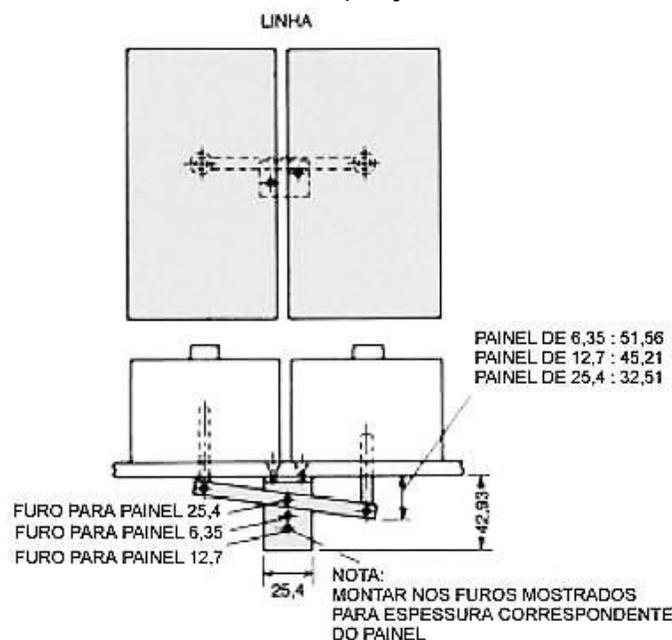


Figura 71: Detalhe fixação do intertravamento mecânico. Fonte: Disponível em: <
http://www.geindustrial.com.br/produtos/disjuntores/industriais_iec/02.asp>
 , acesso em 20/05/12.

b) Intertravamento elétrico

É implementado inserindo-se um contato auxiliar abridor de um dos contactores (C_1) no circuito de comando que alimenta a bobina do outro contactor (C_2), fazendo com que o funcionamento de C_1 dependa de C_2 e vice versa.

11.2. Diagrama do Sistema de Partida Direta com Reversão

a) Diagrama de força

b) Diagrama de comando

11.3. Diagrama do Sistema de Partida Direta com Chave-Bóia

O sistema de partida deve garantir que o grupo motor bomba impulse o fluido entre dois reservatórios em geral situados em alturas diferentes. O ciclo deve ser completado, por exemplo, quando o reservatório superior estiver vazio e o inferior cheio.

Comercialmente as chaves boias são encontradas em três tipos:

- Chaves de contatos sólidos;
- Chaves de contatos de mercúrio;
- Chaves eletrônicas.

a) Chaves de contatos sólidos

Quando do tipo contatos sólidos estas chaves são constituídas por uma caixa de contatos, uma vareta com limitadores de nível e a boia propriamente dita. Normalmente seu invólucro é de plástico.

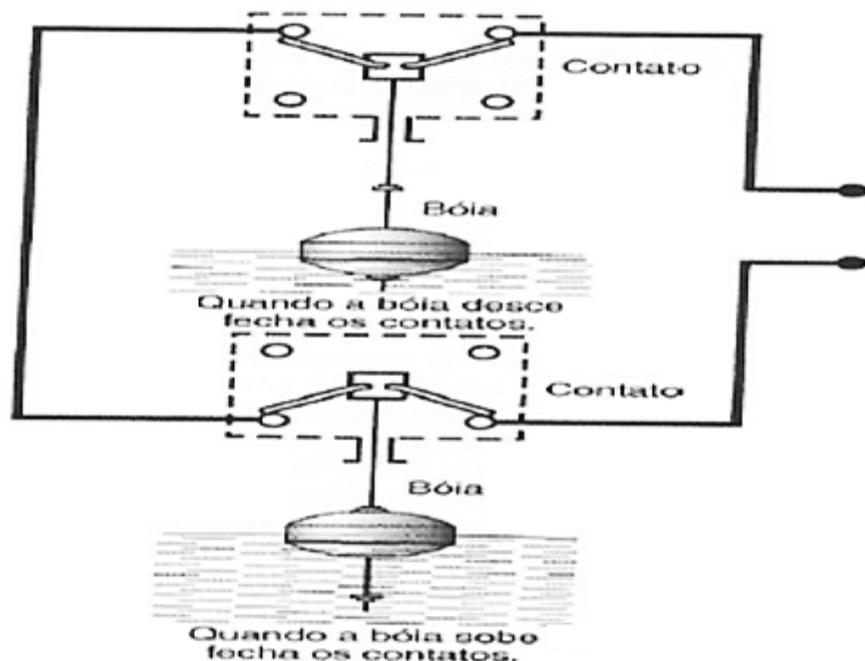


Figura 72: Chave de contatos sólidos. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

b) Chaves eletrônicas

As chaves-bóia de contatos eletrônicos, como a própria nomenclatura sugere, fazem uso de dispositivos eletrônicos, portanto são um pouco mais sofisticadas que as anteriores. Comparando-se com as demais tem custo mais elevado e, portanto tem seu emprego mais limitado que as outras modalidades de bóias.

Prof. Eng. Dennys Alves, Msc.

Possui sensores de grafite que atuam quando em contato com a água. Os sensores são de máxima e de mínima sendo utilizados para sinalizar os níveis máximo e mínimo respectivamente.

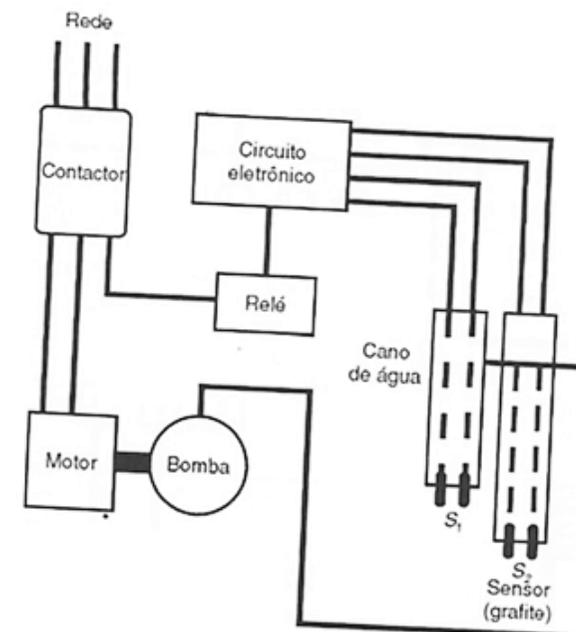


Figura 73: Chave eletrônica. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

c) Chaves de contatos de mercúrio

A mais utilizada dentre as chaves tipo bóia é a chave de contato de mercúrio. Internamente são constituídas por uma ampola preenchida com mercúrio, dois contatos ligados aos fios do circuito elétrico e um contrapeso de ferro responsável por manter a ampola em sua posição.

A corrente elétrica é estabelecida na chave por meio da condutividade elétrica do mercúrio, dependendo da posição

da bóia. Podem ser destinadas a uso em reservatório superior e reservatório inferior.

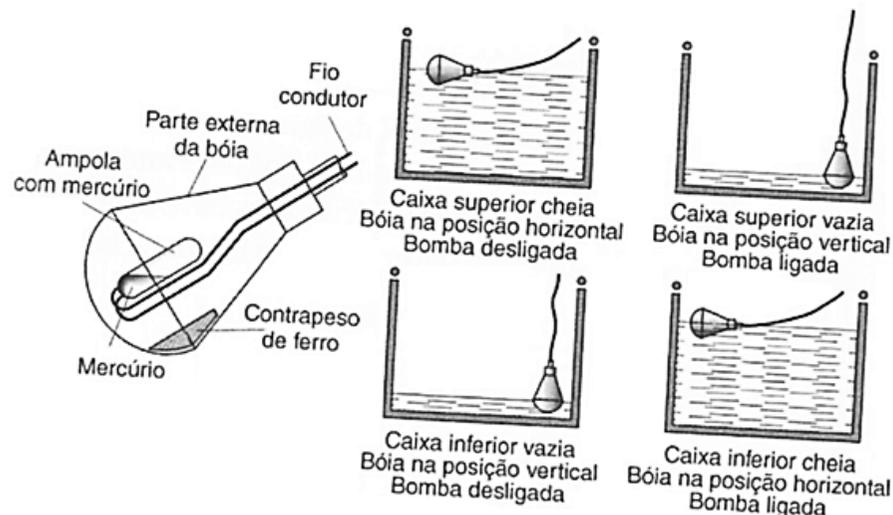


Figura 74: Chave de contato de mercúrio. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

12. Chave de Partida Compensadora

Também pode ser chamada de autotransformador de partida. Em geral são utilizadas para a partida de motores sob carga. Possuem conexões de 50, 65 e 80% da tensão nominal.

Deve ser adotada a conexão adequada para atingir o conjugado de aceleração necessário ao conjunto motor-máquina.

O motor trifásico é ligado em série com um autotransformador trifásico. Quando o motor está ligado ao TAP 80% do autotransformador, a corrente de partida será de 64% da corrente de partida direta. Após o tempo necessário

para o motor acelerar (aproximadamente 15 segundos), as bobinas passam a receber a tensão nominal.

Nesta modalidade de chave partida de motores podemos citar alguns aspectos relevantes tais como:

- O autotrafo deverá ter potência igual ou superior a do motor;
- O conjugado resistente de partida da carga deve ser inferior à metade do conjugado de partida do motor.
- É indicada para motores de potência elevada, que acionam cargas com alto índice de atrito.

12.1. Diagrama de Força

12.2. Diagrama de Comando

Interligação dos terminais do motor:

Menor rotação:

Maior rotação:

13. Chave de Partida Dahlander

Tipo de chave de partida utilizada em aplicações que requisitam duas velocidades como, por exemplo, em elevadores e monta cargas. A mudança das ligações internas (bobinado) altera o número de pólos.

Na menor rotação teremos a ligação triângulo série, onde as bobinas de cada fase estão ligadas em série. Os terminais 1, 2 e 3 recebem as fases R, S e T enquanto que os terminais 4, 5 e 6 permanecem não conectados.

Na maior rotação teremos a ligação estrela paralela, onde as bobinas de cada fase estão ligadas em paralelo. Os terminais 4, 5 e 6 recebem as fases R, S e T enquanto que os terminais 1, 2 e 3 são curto-circuitados.

14. Estrela-Triângulo

Chave de partida para reduzir a corrente inicial a partir da diminuição da tensão de alimentação. Na menor tensão teremos a maior corrente e na maior tensão teremos uma corrente mais baixa no circuito de alimentação do motor.

O pré-requisito fundamental para esta modalidade de partida indireta é fato de que o motor seja de dupla tensão (**Δ: Maior tensão – Y: Menor tensão**):

- a) 220 / 380 V;
- b) 380 / 660 V;
- c) 440 / 760 V.

Outro requisito fundamental é fato de que o motor deve ter no mínimo 6 terminais de ligação acessíveis. Este tipo de partida pode ser utilizado quando a curva de conjugado motor é suficiente para garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida.

Quando em configuração estrela o conjugado fica reduzido a 25-33% do conjugado de partida da configuração triângulo. Para minimizar este efeito a partida estrela-triângulo

deve ser utilizada em motores com curva de conjugado elevado.

A principal limitação deste método de partida é fato de que o mesmo só pode ser empregado na partida em vazio, isto é sem carga. A carga só pode ser aplicada ao eixo do motor após o mesmo ter atingido a rotação nominal. Em nenhuma hipótese o conjugado resistente da carga pode se tornar superior ao conjugado de partida do motor, bem como a corrente durante a mudança de estrela para triângulo pode atingir valores acima das especificações do relé ou do motor.

A tabela abaixo estabelece uma relação entre as tensões disponíveis no motor e a tensão da rede de alimentação para ligação de máquinas em estrela-triângulo. Observa-se que a tensão nominal do motor em triângulo deve coincidir com a tensão de linha da rede de alimentação.

Tabela 3: Ligação do motor x tensão da rede de alimentação. Fonte: elaborador pelo autor.

Ligação do Motor		Tensão da Rede de Alimentação
Δ	Y	
220 V	380 V	220 V
380 V	660 V	380 V
440 V	760 V	440 V

Este tipo de chave de partida faz uso de um relé especialmente desenvolvido para automação deste procedimento, chamado de temporizador para chave

estrela-triângulo ($R_Y \rightarrow \Delta$)²³. O referido relé incorpora em sua lógica interna a temporização necessária para a abertura da chave estrela e fechamento da chave-triângulo. A temporização precisa pode ser selecionada na face do dispositivo. Ex: tempo de retardo ou morto de 50 msec (tempo entre o desligamento).

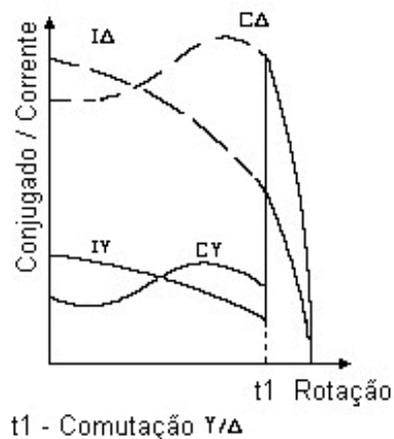


Figura 75: Curva característica de corrente e conjugado da chave estrela-triângulo. Fonte: Disponível em: <
<http://www.seaan.com.br/cursos/comandos-eletricos-basico/apostila/>>,
 acesso em 20/05/12.

O gráfico acima apresenta a corrente e o conjugado correspondente à partida estrela-triângulo de um motor de gaiola acionando uma carga com conjugado resistente C_r .

Abaixo a descrição das grandezas:

- I_Δ - Corrente em triângulo;
- I_Y - Corrente em estrela;

- C_Y - Conjugado em estrela;
- C_Δ - Conjugado em triângulo.

Abaixo apresentamos um quadro resumo onde são explicitadas vantagens e desvantagens do uso da chave estrela-triângulo:

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens da Chave Estrela - Triângulo. Fonte: elaborado pelo autor.

Chave de Partida Estrela - Triângulo	
Vantagens	Desvantagens
É muito utilizada por seu custo reduzido.	Só pode ser aplicada a motores com 6 terminais acessíveis.
Não tem limite quanto ao seu número de manobras.	A tensão da rede deve coincidir com a tensão em delta do motor.
Os componentes ocupam pouco espaço.	Com a corrente de partida reduzida para 1/3 da corrente nominal reduz-se também o momento de partida para 1/3.
A corrente de partida fica reduzida a aproximadamente 1/3.	Caso o motor não atinja pelo menos 90% da sua velocidade nominal, o pico de corrente na comutação estrela-triângulo será quase como se fosse uma partida direta, não trazendo nenhuma vantagem para rede.

²³ Exemplos de relés: Relé temporizado 7PU60 - Siemens ou Relé temporizado RE8YA - Telemecanique.

14.1. Circuito de Força

14.2. Circuito de Comando

15. Manutenção de Máquinas Elétricas

A manutenção de instalações industriais visa assegurar a eficiência, flexibilidade, confiabilidade, economicidade, segurança e durabilidade dos processos industriais.

A inspeção constante pode ser considerada como a melhor e mais eficaz técnica para manter as instalações destinadas ao funcionamento de máquinas elétricas funcionando de modo seguro e eficiente.

São exemplos de inspeções e intervenções de manutenção em quadros e máquinas elétricas:

- a) Estado dos contatos elétricos;
- b) Inspeção de chaves, fusíveis e disjuntores;
- c) Temperatura dos condutores;
- d) Verificação geral da estrutura dos quadros;
- e) Amperagens e voltagens dos circuitos;
- f) Medições de aterramento: continuidade e condições dos condutores de terra.

15.1. Aquecimento dos Contatos

Trata-se de um defeito bastante comum em quadros elétricos e conexões efetuadas dentro das caixas de ligação de motores. Em muitos casos a amperagem e a tensão dos circuitos permanecem quase inalteradas, sendo que os efeitos adversos só aparecem após transcorrido um determinado tempo de funcionamento.

O aquecimento dos contatos (denominado genericamente de "pontos quentes") quase sempre está associado a contatos frouxos ou emendas mal executadas. Outras possíveis causas são conexões sujeitas a variações de temperatura ou sujeitas a vibrações.

São perceptíveis em alguns casos, mas quase sempre permanecem imperceptíveis como, por exemplo, em circuitos de iluminação onde a variação da eficiência luminosa não é facilmente percebida.

As principais implicações dos pontos quentes em circuitos elétricos são: corrosão de materiais, centelhamentos e interrupção parcial ou total dos circuitos.

Abaixo enumeramos algumas características dos pontos quentes:

- a) Aparecem com mais frequência nas ligações entre condutores de cobre ou alumínio em placas de aço presas com parafusos também de aço;
- b) Quando as conexões são estanhadas (soldadas) os efeitos do aquecimento são bastante reduzidos. Entretanto nas soldagens mal executadas os efeitos do superaquecimento podem se manifestar;
- c) O aquecimento e corrosão se apresentam entre condutores de alumínio e cobre.

Aquecimento excessivo de contatos pode provocar a ignição de materiais inflamáveis que estejam no seu entorno iniciando incêndios de origem elétrica.

15.2. Resistência de Isolamento

No caso de motores alimentados em tensão nominal elevada devemos tomar especial cuidado com eventuais vazamentos de corrente para sua carcaça.

Deve-se monitorar continuamente a resistência de isolamento entre os bobinados (enrolamentos) do motor e sua carcaça (também denominada de massa) ou ainda entre seus condutores de alimentação e o eletroduto onde estão alojados.

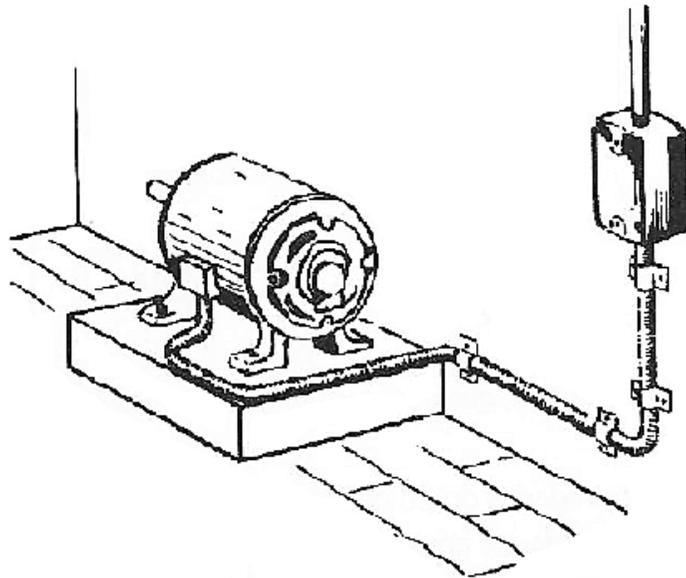


Figura 76: Interligação do eletroduto ao motor elétrico. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

A resistência de isolamento é medida fazendo uso de um instrumento denominado de megôhmetro. Tal aparelho permite medir altas resistências elétricas como, por exemplo, no teste de isolamento de redes elétricas, de motores e de geradores.

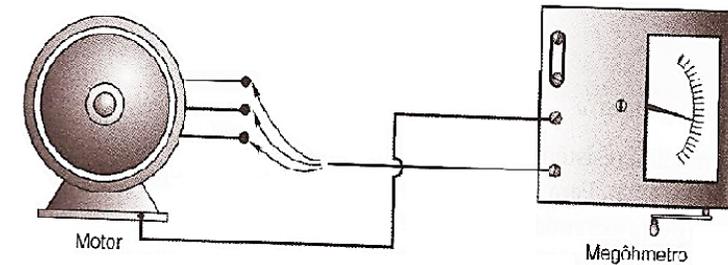


Figura 77: Exemplo de medição resistência de isolamento da carcaça do motor. Fonte: CREDER, Hélio. Manual do Instalador Eletricista. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

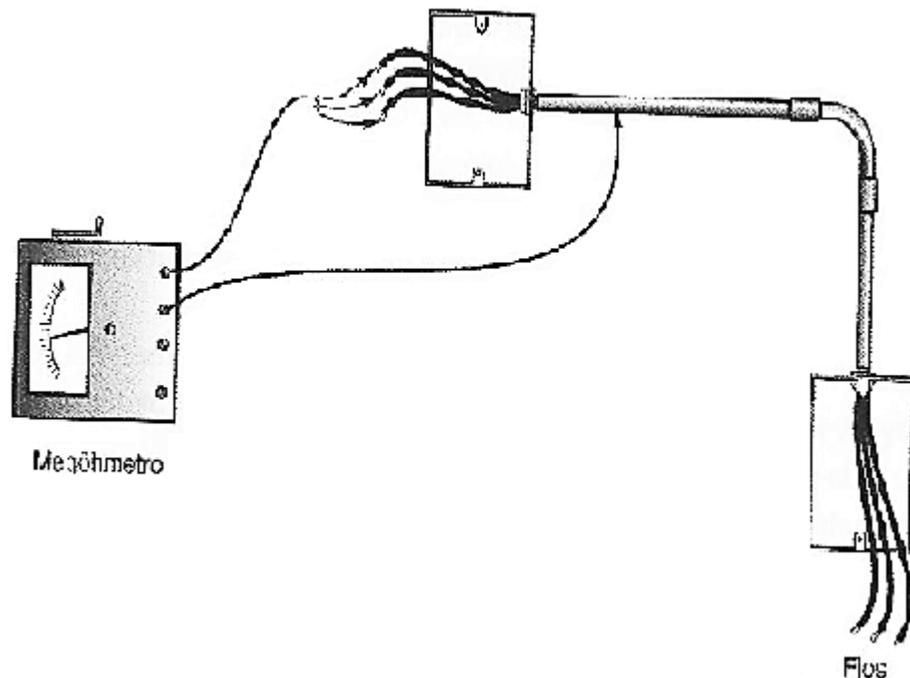


Figura 78: Exemplo de medição resistência de isolamento dos eletrodutos.
 Fonte: CREDER, Hélio. *Manual do Instalador Eletricista*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

15.3. Lubrificação

15.4. Bobinagem

Referências

- CREDER, Hélio. **Manual do Instalador Eletricista**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- FERREIRA, Adjair. **Manutenção de Motores de Indução**: Notas de aula disciplina. Natal: CEFET-RN, 2002.
- FIALHO, Augusto. **Máquinas Elétricas**: Notas de aula disciplina. Natal: CEFET-RN, 2002.
- RAIMUNDO, Italo. **Projeto de Acionamento de Máquinas**: Notas de aula disciplina. Natal: CEFET-RN, 2002.
- COTRIM, Ademaro. **Instalações Elétricas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.
- MARKUS, Otávio; CIPELLI, Marco. **Circuitos em Corrente Contínua**: Teoria e Exercícios. São Paulo: Érica, 1999. (Ensino Modular - Eletricidade).