

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ- UNIFAP

JUAN PEREIRA SILVA

MOISÉS HAMSSÉS SALES DE SOUSA

BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Macapá- AP

2016

JUAN PEREIRA SILVA
MOISÉS HAMSSÉS SALES DE SOUSA

BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Amapá, sendo julgado adequado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: **Controle e Automação**

Orientador: Prof. Me André de Oliveira
Ferreira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

621.313

S586b Silva, Juan Pereira.

Bancada didática para acionamentos de motores elétricos / Juan Pereira Silva, Moisés Hamssés Sales de Sousa; orientador, André de Oliveira Ferreira. -- Macapá, 2016.

65 p.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

1. Motores de indução - Acionamentos. 2. Controlador lógico. 3. Engenharia elétrica. I. Sousa, Moisés Hamssés Sales de. II. Ferreira, André de Oliveira, orientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ATA DE DEFESA DE TCC

Às 15:40 horas do dia 12 de fevereiro de 2016, nas dependências da Universidade Federal do Amapá, reuniu-se a Banca Examinadora para defesa de TCC intitulado CONSTRUÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES de autorias dos alunos JUAN PEREIRA SILVA e MOISES HAMSES SALES DE SOUZA regularmente matriculados no Curso de Engenharia Elétrica desta universidade. A banca Examinadora foi assim constituída: Prof. Me. ANDRÉ DE OLIVEIRA FERREIRA, Presidente da Banca e Orientador, Prof. Dr. GERALDO NEVES DE ALBUQUERQUE MARANHÃO e Prof. Me. RAPHAEL DIEGO COMESANHA SILVA, como examinadores. Concluída a defesa, foram realizadas as arguições e comentários. Em seguida procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora, tendo o projeto sido APROVADO. E, para constar, eu, ANDRÉ DE OLIVEIRA FERREIRA, presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada por mim e demais membros da Banca Examinadora.

Macapá(AP), 12 de fevereiro de 2016.

Presidente

Membro

Membro

RESUMO

Este trabalho tem como proposta o projeto e construção de uma bancada didática para acionamento de motores de indução trifásicos do tipo gaiola de esquilo, na qual se objetiva demonstrar os tipos de acionamento, suas vantagens e desvantagens. O projeto compreende o dimensionamento e análise do funcionamento das chaves de partida elétrica e eletrônica dos motores de indução trifásicos, através da elaboração de uma bancada didática. O protótipo será usado no laboratório de engenharia elétrica para utilização em aulas práticas, sendo dividido em três módulos: manual, composto por partida direta e estrela-triângulo; partida automática através de inversor de frequência; partida automática por meio de Controlador Lógico Programável (CLP). A bancada proporcionará não só analisar os parâmetros de funcionamento dos motores (como tensão e corrente) de acordo com seu tipo de acionamento, mas também apresentar os principais componentes de proteção e de acionamento instalados nos circuitos de força e comando que constituem cada chave de partida. Além disso, oferece ao aluno o conhecimento prévio dos acionamentos de motores elétricos mais empregados nos processos industriais. Dessa forma, a bancada proporcionará a aquisição de conhecimentos relacionados a acionamento de motores e oferecerá ao curso de Engenharia Elétrica da UNIFAP, mais uma ferramenta de auxílio no processo de ensino-aprendizagem.

Palavra-chave: Bancada Didática. Acionamento. Motor de Indução Trifásico.

ABSTRACT

This work proposes the design and construction of a didactic prototype to drive induction motors squirrel cage, aiming to demonstrate the types of drive, its advantages and disadvantages. The project includes the design and analysis of operation of electric starters and electronic three-phase induction motors, through the development of a didactic workbench. The prototype will be used in the electrical engineering laboratory for use in practical classes, divided into three modules: manual, consisting of direct and star-delta starter; automatic start through variable-speed drive; automatic start through Programmable Logic Controller (PLC). The prototype will provide not only to analyze the engine operating parameters (such as voltage and current) according to their type of drive, but also present the main protection and components installed in power and command circuits constituting each starting key. Additionally, it provides the student with prior knowledge of the drives of most used electric motors in industrial processes. Thus, the prototype provides the acquisition of motor startup-related knowledge and offer to the course of Electrical Engineering of UNIFAP another aid tool in the teaching-learning process.

Keyword: Didactic Prototype. Drive. Three-phase induction motor.

SUMÁRIO

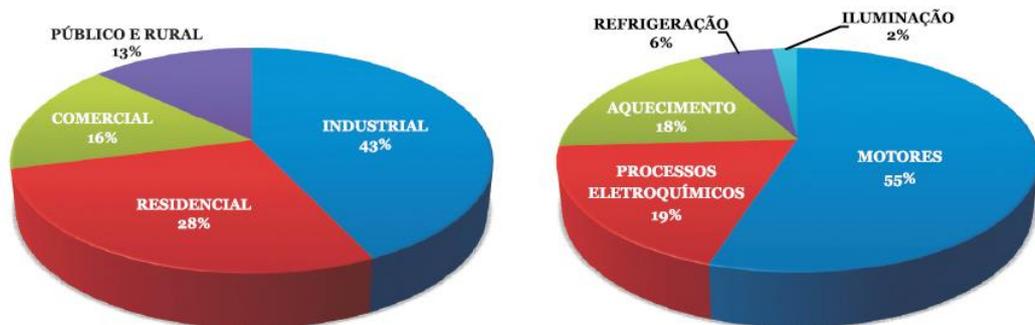
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 TEORIA CONCISA DOS MOTORES DE INDUÇÃO E SEUS DIVERSOS TIPOS DE ACIONAMENTOS	9
2.1 Introdução	9
2.2 Princípio de Funcionamento Básico dos Motores Elétricos	9
2.3 Princípio de Funcionamento dos Motores Elétricos de Indução	12
2.4 Velocidade Síncrona	14
2.5 Frequência, Tensão e Reatância do Rotor.....	15
2.5 Características Nominais.....	16
2.5.1 Potência Nominal	17
2.5.2 Fator de serviço	18
2.5.3 Tensão Nominal	18
2.5.4 Corrente Nominal	18
2.5.5 Frequência nominal	19
2.5.6 Velocidade Nominal.....	19
2.5.7 Conjugado Nominal	19
2.6 Tipos de Acionamento dos Motores de Indução	20
2.6.1 Partida Direta.....	21
2.6.2 Partida Estrela-Triângulo	23
2.6.3 Inversor de Frequência.....	27
3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E INVERSOR DE FREQUÊNCIA	29
3.1 Introdução	29
3.2 Breve Histórico e Conceituação do CLP	29
3.3. Estrutura e Princípio de Funcionamento do CLP	30
3.3.1 Unidade Central.....	31
3.3.2 Unidades de Entrada/Saída.....	32
3.3.3 Unidade de Programação	33
3.4 Linguagem de Programação	34
3.4.1 Diagrama Ladder.....	34
3.5 Instruções Básicas.....	35
3.5.1 Função AND (E)	36
3.5.2 Função OR (OU)	36
3.5.3 Função NOT (Não).....	37
3.5.4 Temporizador	38

3.5.5 Contador	39
3.6 Vantagens e Desvantagens do CLP	41
3.7 Inversores de Frequência	41
3.8 Estrutura Física do Inversor de Frequência	43
3.8.1 Unidade Central de processamento (CPU).....	43
3.8.2 Interface homem/máquina (IHM)	44
3.8.3 Interfaces	44
3.9 Controle Escalar	44
3.10 Controle Vetorial	45
4 DESCRIÇÃO DA BANCADA DE ACIONAMENTO.....	47
4.1 Descrição Física da Bancada Didática.....	47
4.2 Descrição dos Componentes Elétricos e Eletrônicos da Bancada	50
4.2.1 Disjuntor Tripolar.....	51
4.2.2 Disjuntor Bipolar.....	51
4.2.3 Contator.....	52
4.2.4 Relé Térmico	53
4.2.5 Relé Temporizador.....	54
4.2.6 Inversor de frequência.....	55
4.2.7 Controlador Lógico Programável (CLP).....	55
4.2.8 Motor trifásico de indução (MIT)	56
5 Resultados e Propostas para Trabalhos Futuros	58
Referências bibliográficas	59
ANEXO A – Partida Direta Para Motores Trifásicos a Contator.....	60
ANEXO B - Partida Estrela-Triângulo a Contator - Comando Temporizado.....	62
ANEXO C - Partida de Motor Elétrico e Variação de Velocidade com uso do Inversor de Frequência	64

1 INTRODUÇÃO

Motores elétricos desempenham papel importante no desenvolvimento da sociedade e estão presentes em diversos tipos de aplicações, desde equipamentos portáteis, como celulares, até em processos industriais de grande porte. Viana, Bortoni, et al. (2012), apresentam resultados de pesquisas realizadas sobre o consumo de energia elétrica no Brasil que apontam o motor elétrico como o maior consumidor de energia dentro do setor industrial, o que mostra o amplo uso desta máquina eletromecânica. A figura 1.1 ilustra o resultado da pesquisa:

Figura 1.1: Utilização da Energia Elétrica no Brasil e no Setor Industrial



Fonte: Viana et al., (2012).

Devido à importância dos motores é relevante o estudo destas máquinas em cursos de engenharia, principalmente Engenharia Elétrica. Conforme visto em Pacheco, Batista e Petry (2012), o estudo desses equipamentos envolve uma complexa abordagem matemática, com isso se faz necessária a existência de ferramentas de ensino para um melhor aprendizado, de modo que o aluno apresente um melhor entendimento sobre o assunto.

A ausência dessas ferramentas pode dificultar o aprendizado das disciplinas alusivas às máquinas elétricas, o que pode provocar insatisfação e desmotivação nos alunos. Conforme visto em Pinheiro (2000), em muitos casos os estudantes sentem-se desmotivados por não conseguirem visualizar aplicações práticas acerca dos conhecimentos teóricos adquiridos. Uma ferramenta necessária para evitar esse problema é a utilização de protótipos, que permitem ao aluno colocar em prática conhecimentos teóricos, obter uma visão interdisciplinar do curso, estimular a curiosidade científica, além de ser incentivo para a busca do conhecimento.

Diante disso, este trabalho tem por objetivo a construção de uma bancada didática, que auxiliará no processo de ensino-aprendizagem em acionamento de motores elétricos,

permitindo acesso aos conceitos básicos dos motores elétricos e seus acionamentos, além de apresentar os principais dispositivos elétricos e eletrônicos presentes em alguns tipos de acionamentos.

A bancada dispõe de uma variedade de componentes presentes nos diversos tipos de partidas, com isso oferece a possibilidade de adaptar a forma de acionamento de acordo com a necessidade da aula. Além disso, o protótipo foi elaborado de maneira compacta, facilitando o manuseio pelo aluno e professor durante as aulas práticas.

O modelo didático será formado com algumas configurações de acionamentos elétricos, usando um motor de indução trifásico, modelo gaiola de esquilo. Serão demonstradas três maneiras distintas de acionamento. A bancada será dividida da seguinte maneira:

- 1º módulo: elaborada para demonstração dos acionamentos manuais tipo partida direta e partida estrela-triângulo;
- 2ª módulo: elaborada para acionamento automático, através de inversor de frequência;
- 3ª módulo: confeccionada para demonstração dos acionamentos automáticos via Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

O trabalho está estruturado em 5 capítulos:

No capítulo 1 foi apresentada uma breve introdução deste trabalho, além das necessidades e as vantagens do desenvolvimento de bancadas didáticas para aulas práticas no Curso de Engenharia Elétrica da UNIFAP.

O capítulo 2 expõe uma breve teoria, especificações técnicas e três tipos de acionamentos dos motores de indução trifásicos.

O capítulo 3 tem como objetivo abordar os Controladores Lógico Programáveis (CLP) seus conceitos básicos, arquitetura construtiva e linguagem de programação Ladder. Abordará também o inversor de Frequência, seu princípio de funcionamento e os principais componentes que o constituem.

No capítulo 4 será feita uma descrição detalhada da bancada, especificando os modelos dos principais componentes utilizados em cada tipo de acionamento.

Por fim, o capítulo 5 que apresenta as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

2 TEORIA CONCISA DOS MOTORES DE INDUÇÃO E SEUS DIVERSOS TIPOS DE ACIONAMENTOS

2.1 Introdução

Neste capítulo, as leis básicas que regem os motores elétricos serão abordadas com foco no princípio de funcionamento dos motores de indução trifásicos modelo gaiola de esquilo. Serão apresentadas também as principais equações que regem o comportamento dessas máquinas, características de funcionamento e os tipos de acionamento mais utilizados.

2.2 Princípio de Funcionamento Básico dos Motores Elétricos

O motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica através de campos eletromagnéticos que interagem entre si. De acordo com Toro (1999), a teoria que fundamenta o funcionamento dos motores elétricos, sejam eles de corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), seguem os mesmos princípios do eletromagnetismo. Para compreender como o dispositivo funciona, é necessário conhecer alguns efeitos eletromagnéticos envolvidos no processo de conversão eletromecânica de energia.

Em 1820, Hans Christian Oersted descobriu que uma corrente elétrica circulando por um condutor produz um campo magnético. Essa descoberta foi muito importante, pois associou a eletricidade ao magnetismo. Michael Faraday, em 1831, observou que uma tensão induzida era gerada através do movimento relativo entre o campo magnético e o condutor, sem que houvesse contato físico (KOSOW, 2011). A lei de Faraday (ou lei de indução eletromagnética) pode ser expressa conforme Kosow (2011), da seguinte maneira:

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

Onde:

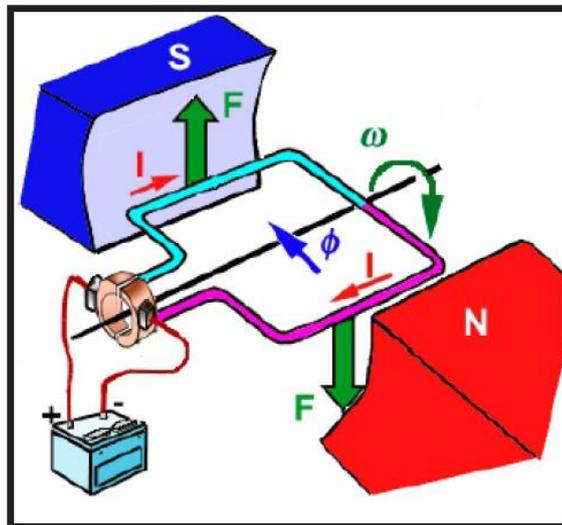
e – tensão induzida ou força eletromotriz (fem);

$\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$ – taxa de variação do campo magnético.

O sinal negativo na equação representa o sentido da corrente induzida no condutor. Segundo a lei de Lenz, uma corrente induzida em um circuito fechado tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe à variação que a produziu (CHAPMAN, 2013).

A figura 2.1 ilustra o princípio básico de funcionamento dos motores elétricos. Um condutor em forma de espira é imerso em um campo magnético produzido, por exemplo, pelos polos de um ímã permanente. Ao aplicar uma corrente elétrica (I) no condutor, observa-se que são geradas forças opostas e perpendiculares ao campo magnético (ϕ).

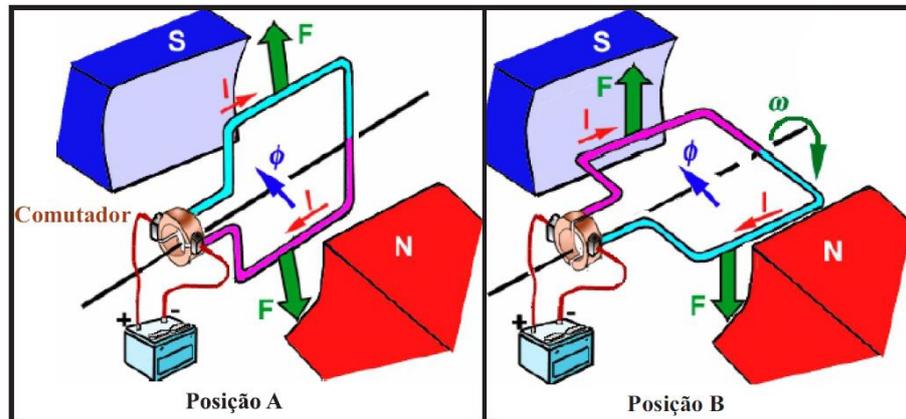
Figura 2.1: Princípio Básico de Funcionamento dos Motores Elétricos



Fonte: Almeida, 2004.

A interação entre essas forças gera um conjugado que faz a espira girar até que esteja posicionada verticalmente, como mostra a posição A da figura 2.2. Para que a espira complete o giro é necessário o uso de um comutador, um disco condutor dividido por um material isolante que possui escovas de grafite, responsáveis por conectar o condutor à fonte de alimentação (JUNIOR, 2011).

Figura 2.2: Etapas de Funcionamento dos Motores Elétricos



Fonte: Almeida, 2004.

A medida que o comutador gira é feita a inversão da corrente elétrica na espira, consequentemente o sentido das forças aplicadas nos lados da espira se inverte. Por inércia, a espira completa o seu giro.

O sentido da força define-se pela relação entre o sentido da tensão induzida, do campo magnético e do movimento do condutor, sendo representada pela regra de Fleming. A intensidade da força, de acordo com Kosow (2011), é determinada pela equação (2.2):

$$F = i.l.B \quad (2.2)$$

Onde:

F - força eletromagnética;

i - valor da corrente circulante no condutor;

l - comprimento do condutor;

B - campo magnético.

Tanto motores CA quanto motores CC seguem os mesmos princípios eletromagnéticos, a diferença se encontra nos seus aspectos construtivos. No entanto, motores de indução trifásicos apresentam algumas características singulares, que são de muita importância para compreender seu funcionamento.

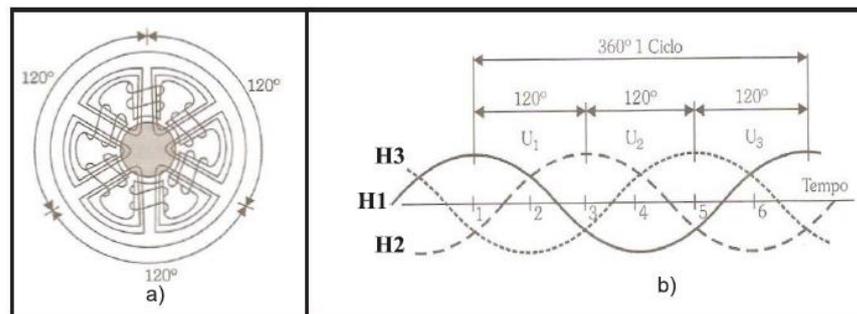
2.3 Princípio de Funcionamento dos Motores Elétricos de Indução

O motor de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo é formado por duas partes distintas, sendo elas o estator, componente que recebe a tensão oriunda da rede elétrica, e o rotor, componente móvel onde se origina a tensão induzida pelo estator.

As bobinas do estator são alimentadas por correntes trifásicas (I_1, I_2, I_3), que criam seus próprios campos magnéticos (H_1, H_2, H_3), pois, conforme visto na seção 2.2, a corrente produz campo magnético. Essa corrente apresenta uma forma de onda variante, ocasionada por três fatores: estão defasadas em 120° entre si, em relação ao tempo; está fluindo em três enrolamentos espaçados em 120° elétricos entre si ao redor da superfície da máquina e apresentam a natureza variante (FRANCHI, 2014).

Dessa maneira, o mesmo acontece com a forma de onda do campo magnético. A figura 2.3. Ilustra a configuração dos enrolamentos trifásicos do motor e a forma de onda do campo magnético das correntes presente no estator.

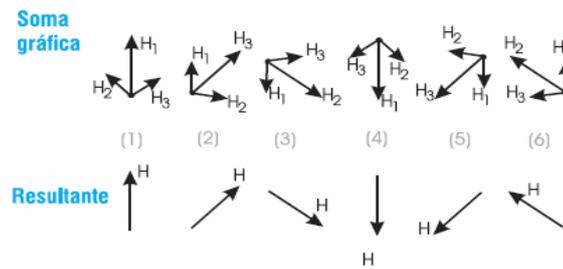
Figura 2.3: Enrolamento de motor trifásico (a) e Gráfico da Forma de Onda dos Campos Magnéticos Produzido pelas Correntes do Estator (b)



Fonte: Franchi, 2014.

Observa-se na figura 2.3b que no ponto cuja abscissa é 1 o campo H_1 (fase U_1) está no seu valor máximo, enquanto que os campos H_2 (fase U_2) e H_3 (fase U_3) estão com valores inferiores e sentidos opostos. No ponto cuja abscissa é 2 o campo H_3 está no seu valor máximo e os campos H_1 e H_2 estão com valores menores e sentidos opostos. Assim, fazendo a mesma analogia para os pontos de abscissa 3, 4, 5 e 6 nota-se que o campo magnético H resultante tende a girar, completando um ciclo, como mostra a figura 2.4.

Figura 2.4: Soma Gráfica dos Campos Magnéticos Resultantes

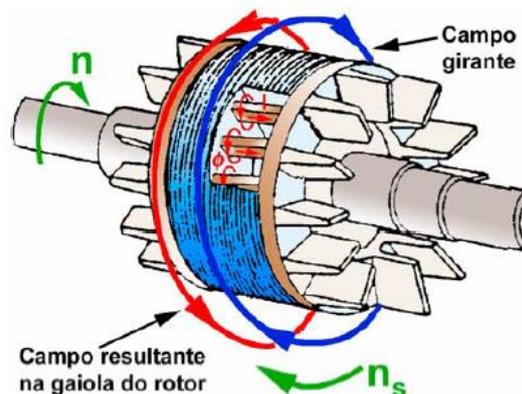


Fonte: WEG, 2006.

Franchi (2014) conclui que “quando o enrolamento trifásico do estator é alimentado por uma corrente trifásica, origina-se um campo magnético girante como se fosse um único par de polos magnéticos girantes com intensidade constante”, ou seja, a direção e o sentido do campo magnético do estator é a resultante da direção e sentido do campo magnético de cada uma das bobinas.

O campo magnético girante gera uma força eletromotriz (f.e.m.) nas barras do rotor, que provoca uma variação de fluxo em seus condutores. Esta força eletromotriz induz correntes elétricas nos condutores do rotor, produzindo outro campo magnético com polaridade oposta ao campo girante. Dessa maneira, como mostra a figura 2.5, campos opostos se atraem e o rotor tende a acompanhar o movimento circular do campo magnético do estator, originando-se um conjugado no motor, que faz seu eixo girar através da interação desses dois campos magnéticos (CHAPMAN, 2013).

Figura 2.5: Representação do Rotor e do Campo Magnético Girante.



Fonte: Almeida, 2004.

Caso o campo magnético girante estivesse na mesma velocidade do rotor não existiria tensão induzida, nem conjugado. Assim, o motor de indução trifásico necessita, obrigatoriamente, de uma diferença entre as rotações do campo magnético girante e do rotor.

2.4 Velocidade Síncrona

A velocidade de rotação do campo magnético girante, originado pelo estator, é denominada como velocidade síncrona. Essa velocidade é dada pela equação (2.3):

$$\eta_s = 120 \cdot f / P \quad (2.3)$$

η_s - velocidade síncrona [rpm];

f -frequência da rede aplicada ao estator em hertz;

P - número de pólos da máquina.

Na equação 2.3, observa-se que a velocidade do giro depende da frequência da tensão alternada e da quantidade de pares de bobinas dispostos no estator, ou seja, o número de polos.

Existe uma diferença entre a velocidade de rotação do rotor e a velocidade síncrona, já que o campo magnético induzido no rotor tende acompanhar o campo magnético girante sem nunca alcançá-lo. Essa diferença de velocidade é denominada escorregamento, descrita de acordo com Chapman (2013), de duas maneiras na equação (2.4) e equação (2.5):

$$N_{esc} = N_s - N_m \quad (2.4)$$

$$s = \frac{N_s - N_m}{N_s} \times 100\% \quad (2.5)$$

Em que:

N_{esc} - velocidade de escorregamento;

N_s - velocidade síncrona;

N_m - velocidade mecânica do eixo do motor (nominal);

S - escorregamento (em fração da velocidade síncrona em porcentagem).

2.5 Frequência, Tensão e Reatância do Rotor

De acordo com Kosow (2011), a frequência das tensões induzidas no rotor é inversamente proporcional à velocidade do rotor, desde um máximo valor em repouso até à frequência zero na velocidade síncrona. Portanto, quando o rotor está em repouso a frequência da f.e.m. induzida é igual a frequência do campo magnético girante, ou seja, o valor máximo. Por outro lado, se o rotor fosse capaz de girar na mesma velocidade do campo magnético girante não haveria tensão induzida e a frequência seria nula.

A frequência para tensão induzida no rotor está em função do escorregamento e da frequência do estator. Chapman (2013) define essa grandeza pela equação (2.6):

$$f_{re} = s f_{se} \quad (2.6)$$

Onde:

f_{re} - frequência da tensão senoidal e das correntes induzidas no rotor a um dado escorregamento;

s - escorregamento;

f_{se} - frequência do estator.

A tensão induzida no rotor para qualquer valor de escorregamento está em função da tensão induzida a rotor bloqueado. Conforme Chapman (2013), o valor de tensão no rotor será dado pela equação (2.7):

$$E_R = s E_{R0} \quad (2.7)$$

Onde:

E_R - tensão induzida no rotor para qualquer valor de escorregamento;

s - escorregamento;

E_{R0} - tensão induzida no rotor bloqueado.

O rotor possui uma resistência e uma reatância interna. A resistência do rotor é constante, e a reatância é afetada diretamente pelo escorregamento. Chapman (2013) define a reatância pela equação (2.8)

$$X_R = s X_{R0} \quad (2.8)$$

Onde:

X_R - reatância no rotor para qualquer valor de escorregamento;

s - escorregamento;

X_{R0} - reatância do rotor bloqueado.

O escorregamento é uma variável muito importante para motores de indução, visto que afeta diretamente as grandezas elétricas encontradas no rotor, tais como: frequência, tensão e reatância.

2.5 Características Nominais

Motores elétricos se diferenciam em vários aspectos. Desse modo, para poder comparar o desempenho de cada um deles, é necessário ter conhecimento das informações técnicas e grandezas elétricas (tensão nominal, corrente nominal, potência nominal, etc.). Essas informações são definidas como características nominais. A tabela 2.1 apresenta as principais grandezas nominais que estão presentes nos dados de placa do motor.

Figura 2.1: Grandezas Nominais Presentes nos Dados de Placa do Motor

Dados de placa do motor de indução trifásico	
Potência Mecânica/ Potência Elétrica	1 cv/0,75 Kw
Frequência	60 Hz
R.P.M.	3460
Tensão	220/380
Corrente	3,1/1,8

Fonte: Elaboração Própria

A tabela 2.1 descreve os dados de características e desempenho que estão dispostos nas placas de identificação dos motores elétricos. Assim, é possível encontrar valores como: tensão nominal, corrente nominal, frequência nominal, entre outros. Serão apresentadas a seguir algumas dessas características.

2.5.1 Potência Nominal

Potência nominal é a potência mecânica que o motor fornece na ponta de seu eixo, ou seja, é o trabalho que o motor pode executar quando possui uma carga acoplada a ele. Geralmente, essa potência nominal é medida em cv (cavalo a vapor), sendo que 1 cv equivale a 736 W.

A relação entre essa conversão é determinada pelo rendimento (η), podendo ser expresso pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \quad (2.9)$$

Onde:

$P_{saída}$ – Potência nominal (mecânica);

$P_{entrada}$ – Potência elétrica.

O rendimento representa a relação percentual entre a potência mecânica fornecida no eixo e a potência elétrica fornecida pela rede.

2.5.2 Fator de serviço

Fator de serviço é uma característica correspondente à reserva de potência que dá ao motor condições de funcionamento em situações adversas, ou seja, quando o motor se encontra em situação crítica, ele pode trabalhar com uma potência nominal limite determinada pelo fator de serviço, valor esse dado em porcentagem. Contudo, quando não há indicação do fator de serviço, ele corresponde a 1,0.

2.5.3 Tensão Nominal

Tensão nominal é a tensão de trabalho do motor em condições normais de funcionamento, sendo uma característica de fabricação. Segundo Filho (2007), “dependendo da maneira como são conectados os terminais das bobinas de enrolamento estatóricas, o motor pode ser ligado às redes de alimentação com diferentes valores de tensão”. Assim, o motor pode apresentar dois ou mais níveis de tensão de alimentação, podendo ser alterada através da mudança de fechamento das bobinas do estator. A configuração como deve ser feito esse fechamento também se encontra na placa de identificação do motor.

2.5.4 Corrente Nominal

Corrente nominal é a corrente solicitada da rede de alimentação que o motor necessita para executar uma tarefa em plena carga. Para cada nível de tensão exposto na placa do motor existe um valor de corrente nominal correspondente, ou seja, dependendo do tipo de fechamento das bobinas do motor, pode-se solicitar da rede um valor diferente de corrente.

Além dos valores de corrente nominal, segundo Franchi (2014) é apresentada nos dados de placa do motor a corrente de partida, visto que ao energizar um motor este solicita da rede uma quantidade de corrente expressiva. Portanto, para retirar o eixo do motor de seu estado de repouso necessita-se de uma injeção de corrente maior, podendo ser de 6 a 8 vezes a corrente nominal.

2.5.5 Frequência nominal

Frequência é o número de vezes por segundo que a tensão ou a corrente mudam de sentido e voltam às condições iniciais. É expressa em Hertz. No Brasil a frequência utilizada é a de 60 Hz.

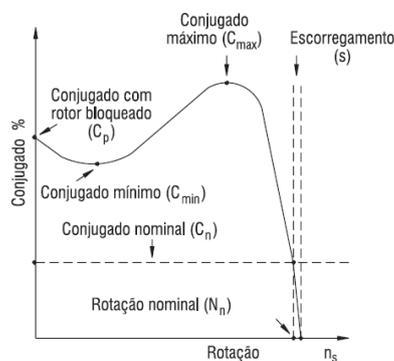
2.5.6 Velocidade Nominal

Velocidade nominal é a velocidade do eixo do rotor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequência nominais, sendo consequência da quantidade de números de polos resultantes e do arranjo e distribuição das bobinas (ELETROBRAS, et al., 2009).

2.5.7 Conjugado Nominal

Conjugado pode ser definido como a força necessária para movimentar o eixo do motor, sendo originado a partir da interação entre os campos magnéticos do estator e do rotor. Diante disso, conjugado nominal é o torque que o motor desenvolve quando submetido à potência, tensão e frequência nominais. A figura 2.6 representa o gráfico da variação do conjugado em relação à rotação do motor, especificada na norma da ABNT NBR 7094.

Figura 2.6: Curva Conjugado x Rotação



Fonte: WEG, 2006.

Além de o gráfico mostrar o ponto do conjugado nominal (C_n), apresenta também o ponto do conjugado com o rotor bloqueado (C_p), ou seja, o conjugado desenvolvido no momento inicial de partida do motor. O próximo ponto é o conjugado mínimo (C_{min}) que apresenta o menor valor desde o momento de velocidade inicial até o conjugado máximo (C_{max}), que por sua vez, representa o maior valor de conjugado desenvolvido pelo motor (WEG, 2006).

Para entender o comportamento dos motores de indução, é importante saber sobre o princípio de funcionamento e as principais equações que os regem. É imprescindível também conhecer as características nominais. No entanto, somente esses fatores não são garantias para a segurança do motor e do circuito em que o motor será instalado, é preciso conhecer as diversas maneiras de acionamento dessas máquinas para determinar a carga a ser acionada.

2.6 Tipos de Acionamento dos Motores de Indução

O acionamento de um motor elétrico pode ser definido como a maneira na qual é fornecida a alimentação elétrica ao motor. Existem diversas formas de acionar um motor e conhecer a melhor forma de energizá-lo é muito importante, pois tanto a instalação elétrica quanto o próprio motor podem ficar submetidos a vários problemas (queda de tensão, mau funcionamento de alguns equipamentos elétricos, aquecimento dos enrolamentos no estator do motor, etc.).

Em instalações de motores devem ser analisados fatores que oferecem danos ao funcionamento do circuito elétrico. De acordo com Filho (2007), aplicar um método adequado de partida é uma solução para garantir um bom funcionamento do circuito elétrico, melhorar o rendimento do motor, prolongar sua vida útil, proporcionar segurança, além de reduzir os custos operacionais.

Portanto, compreender os princípios de funcionamento de cada tipo de acionamento é de fundamental importância, visto que para poder dimensionar o circuito elétrico de forma segura é necessário conhecer os comportamentos das variáveis do motor no seu instante de partida. Dentre algumas formas de acionamento de motores de indução, do tipo gaiola de esquilo, as mais importantes são partida direta, partida indireta por estrela-triângulo, além dos

acionamentos mais modernos por meio de equipamentos eletrônicos como o inversor de frequência e por Controlador Lógico Programável (CLP).

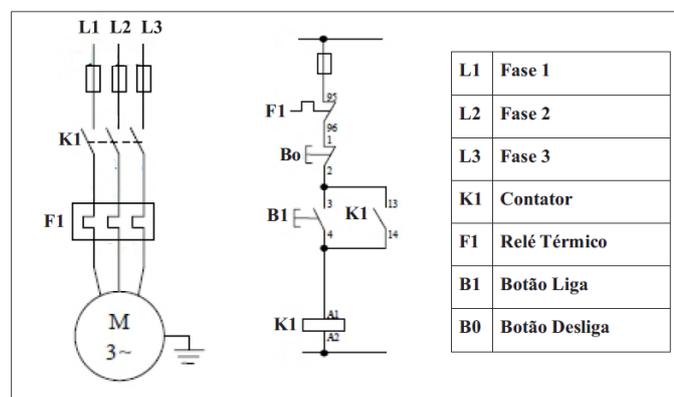
2.6.1 Partida Direta

A partida direta é a forma mais simples de acionamento de motores elétricos, na qual as três fases do motor são ligadas diretamente à rede elétrica, ou seja, o motor recebe a tensão nominal do circuito de alimentação. O motor solicita do sistema uma corrente de partida na faixa de 6 a 8 vezes o valor de sua corrente nominal devido a mudança do estado de inércia do eixo do rotor (FRANCHI, 2014). Essa elevação expressiva da corrente nominal no circuito resulta em uma queda de tensão prejudicial ao funcionamento dos equipamentos e demais circuitos do sistema elétrico ao qual o motor está conectado.

Trata-se de um acionamento simples e fácil de ser executado, pois não precisa de dispositivos auxiliares, bastando conectar os terminais de fase do motor diretamente ao sistema trifásico oriundo da rede elétrica. Em virtude dessas características a partida direta é encontrada tanto em instalações industriais quanto em instalações residenciais. No entanto, deve-se tomar cuidado nesse tipo de partida devido à corrente de pico apresentada no instante inicial do acionamento.

Para executar uma partida direta de forma correta é necessário ter conhecimento do diagrama elétrico desse tipo de partida. A figura 2.7 ilustra o esquema de ligação.

Figura 2.7: Diagrama de Ligação da Partida Direta



Fonte: Adaptado de Franchi, 2014.

Ao pressionar o botão B1, a bobina do contator K1 é energizada. Essa ação faz fechar o contato auxiliar normalmente aberto (13-14), proporcionando o acionamento do motor. Para interromper o funcionamento do contator K1 é necessário pulsar o botão Bo, fato que também propiciará a parada do motor. O contato fechado 95-96 do relé térmico protege o circuito elétrico, evitando sobrecargas no motor.

No entanto, conhecer somente o diagrama da partida direta não significa que o motor funcionará de maneira segura. Filho (2007) aborda três condições que devem ser satisfeitas para obtenção do sucesso dessa partida:

- A corrente drenada da rede elétrica pelo motor deve ser pequena, de modo que não provoque queda de tensão no circuito no qual o motor está instalado;
- O motor deve apresentar baixa potência;
- A partida do motor deve ser feita sem carga, o que reduz a corrente de partida.

Por outro lado, Filho (2007) cita outras condições que impedem a execução dessa partida:

- Em instalações elétricas alimentadas por baixa tensão, a potência do motor não deve ser maior do que a permitida pela concessionária local (geralmente até 5 cv para 220 V).

Dessa maneira, para que se tenha eficiência nesse tipo de acionamento deve-se minimizar os efeitos da corrente. Caso contrário o circuito elétrico, no qual o motor está instalado, será prejudicado.

Franchi (2014) cita as vantagens e desvantagens desse tipo de acionamento. Conforme descreve a tabela 2.2:

Tabela 2.2: Vantagens e Desvantagens da partida direta.

Vantagens	Desvantagens
Seus equipamentos de montagem são simples, proporcionando fácil instalação	Queda de tensão acentuada acaba ocasionando interferência em outros equipamentos instalados no sistema
Conjugado de partida elevado	Os cabos de instalação devem ser superdimensionados para suportar a corrente de partida
Baixo custo de implementação	Imposição das concessionárias que limitam a queda de tensão na rede

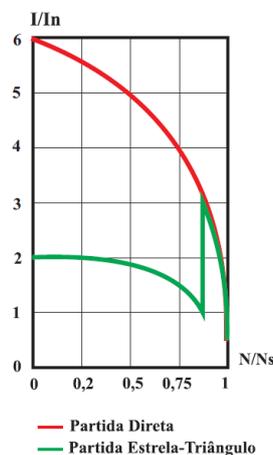
Fonte: Adaptado de Franchi, 2014.

A partida direta se apresenta como a forma mais fácil de executar o acionamento de um motor elétrico, não necessitando de equipamentos auxiliares. Ao fazer sua instalação deve-se ficar atento a corrente de partida do motor, para que não danifique o circuito a ser instalado. Entretanto, há acionamentos que minimizam o valor da corrente de pico, uma delas é denominada partida estrela-triângulo.

2.6.2 Partida Estrela-Triângulo

A partida estrela-triângulo ocorre quando um motor é ligado na configuração estrela e após certo período em que o motor atinge sua velocidade nominal, a ligação é convertida em triângulo assumindo a tensão nominal da rede elétrica. Segundo Franchi (2014), para que isso ocorra, o motor precisa ter no mínimo seis terminais de ligação e aceitar mais de um valor de tensão, de modo que se possa ligá-lo a dois valores distintos (por exemplo 220/380, 380/660, entre outras). A figura 2.8 ilustra os efeitos desse acionamento na corrente de partida.

Figura 2.8: Corrente de Partida Chave Estrela-Triângulo



Fonte: Adaptado de Franchi, 2014.

Observa-se que no acionamento estrela-triângulo há uma significativa redução da corrente elétrica no momento inicial de acionamento. Esse efeito acontece devido à partida em estrela apresentar uma redução na tensão de fase nos enrolamentos do estator, diminuindo também a corrente de partida.

Segundo Franchi (2014), na ligação em estrela, a relação entre a tensão de linha e a tensão de fase são dadas pelas equações (2.10) e (2.11):

$$V_F = V_L / \sqrt{3} \quad (2.10)$$

$$V_F = V_L 0.58 \quad (2.11)$$

Onde:

V_F – tensão de fase;

V_L – tensão de linha.

Então o motor parte com uma tensão de 58% da tensão nominal da linha. Enquanto que, de acordo com Franchi (2014), a relação entre a corrente em estrela e a corrente nominal do motor é dada pela equação (2.12) e (2.13):

$$I_Y = I_n / 3 \quad (2.12)$$

$$I_Y = I_n 0.33 \quad (2.13)$$

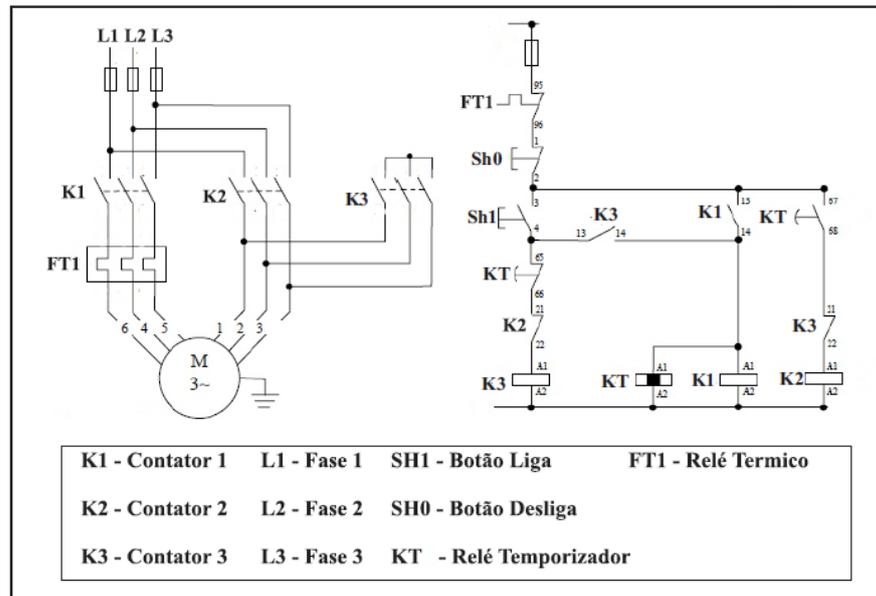
Onde:

I_Y – corrente em estrela;

I_n – corrente nominal.

Essa mudança de tensão é feita por contadores, que são responsáveis por comutar os níveis de tensão. Inicialmente, aciona-se a partida em estrela e, após um determinado período de tempo, a ligação é desfeita e a partida em triângulo é acionada. A figura 2.9 ilustra o diagrama elétrico da partida estrela-triângulo.

Figura 2.9: Diagrama de Ligação da Partida Chave Estrela-Triângulo



Fonte: Adaptado de Franchi, 2014.

Ao pressionar o botão SH1, alimenta-se o contador K1 e K3, responsáveis por executar o fechamento em estrela. Ao mesmo tempo energiza-se o relé temporizador KT, que possui dois contatos auxiliares: um NF (normalmente fechado 15-16) e um NA (normalmente aberto 25-28). Após a contagem do tempo realizado pelo temporizador, K3 é desenergizado pelo contato NF de KT(15-16), enquanto que K2 é energizado pelo contato NA de KT(25-28). Assim, mantém-se energizado os contadores K1 e K2 responsáveis por manter o fechamento em triângulo.

O diagrama de ligação de partida estrela-triângulo demonstra a maneira correta de se executar esse tipo de acionamento. Desse modo, garante-se a redução do valor da corrente de acionamento e, sobretudo, diminui-se os danos à rede elétrica que podem vir a ocorrer devido a um acionamento mal dimensionado.

Além do baixo valor de corrente, Kosow (2011) cita outros efeitos ocorridos no momento inicial da partida estrela-triângulo, como por exemplo, a redução do torque de partida, pois está diretamente relacionado à redução da tensão de linha. Como estabelece a equação (2.14):

$$T_p = K'_t V_f^2 \quad (2.14)$$

Onde:

T_p – Torque de partida;

K_t' – Constante de torque;

V_f^2 – Tensão de fase no enrolamento do estator.

De acordo com a equação (2.14), percebe-se que o torque de partida está em função da tensão aplicada ao enrolamento do estator. Ao se reduzir a tensão nominal pela metade, durante o momento de partida, gera-se um torque de partida que será um quarto do que seria produzido a plena tensão. Da mesma forma que ao se reduzir a tensão primaria se reduz também a corrente do estator e a corrente do rotor (KOSOW, 2011). Portanto, a diminuição na corrente do motor é obtida à custa de uma diminuição indesejável no torque de partida.

Devido a essa redução no torque a chave estrela-triângulo é indicada, na maioria dos casos, em partidas de máquina a vazio, isto é, sem carga, sendo aplicada somente quando se aproximar de sua velocidade nominal. Caso contrário, o motor terá dificuldade para fazer seu eixo girar, podendo até ocasionar a perda da máquina.

Segundo Filho (2007), esse tipo de chaveamento apresenta algumas vantagens e desvantagens. Conforme mostra a tabela 2.3:

Tabela 2.3: Vantagens e Desvantagens da Partida Estrela-Triângulo

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo, pequeno espaço ocupado pelos componentes	Se não houver troca de ligação no momento certo a corrente chega a altos valores, atingindo picos semelhantes aos da partida direta
Não possui limites de manobras	Conjugado de partida muito baixo
Corrente de partida e queda de tensão reduzida	O motor deve ter pelo menos seis terminais acessíveis
	O valor de tensão da rede deve coincidir com o valor de tensão do motor

Fonte: Adaptado de Franchi, 2014.

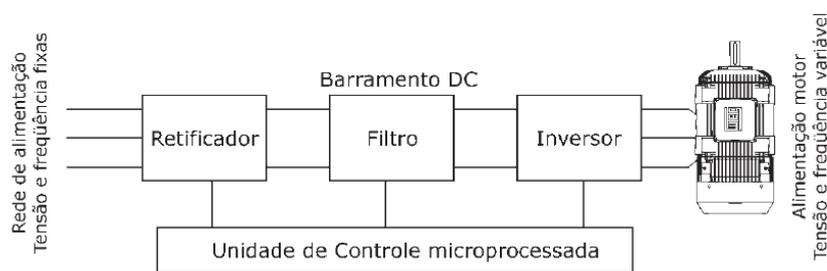
Contudo, com a evolução da tecnologia, não só criaram-se meios mais seguros e mais eficazes para o acionamento, como também foram elaboradas formas de controlar a velocidade desses motores, variável cujo controle é muito importante em vários processos industriais que utilizam motores.

2.6.3 Inversor de Frequência

O inversor de frequência é um equipamento capaz de alterar a frequência de alimentação do motor de indução, com a finalidade de controlar a velocidade, o conjugado e também o sentido de rotação do motor. Nos bornes de entrada do inversor, é inserida uma tensão fixa CA de alimentação, sendo convertida em uma saída CA de tensão e frequência variáveis.

De forma simples, os inversores funcionam, primeiramente, retificando o sinal de entrada alternada. A saída do retificador é conectada a um barramento cc para regular a tensão, pois a saída do retificador é pulsante. Por fim, o sinal contínuo é convertido em alternado, de modo a se conectar com o motor de indução. Uma explicação mais detalhada do funcionamento dos inversores será apresentada no capítulo seguinte. A figura 2.10 ilustra as etapas de funcionamento para executar essa conversão:

Figura 2.10: Etapa de Funcionamento do Inversor de Frequência



Fonte: WEG, 2004.

Segundo Franchi (2009), o uso do inversor de frequência apresenta algumas vantagens e desvantagens. Conforme descrito na tabela 2.4:

Tabela 2.4: Vantagens e Desvantagens do Inversor de Frequência.

Vantagens	Desvantagens
Economia de energia elétrica	Alto custo de aquisição
Aumento da vida útil do maquinário	O inversor de frequência não fornece ao motor uma forma de onda perfeitamente senoidal, ocasionando perdas no motor
Automatização e flexibilidade nos processos fabris	

Fonte: Adaptado de Franchi, 2009.

Portanto, os inversores de frequência são necessários em alguns processos industriais devido ao seu custo benefício. Logo, é possível reduzir os custos com energia elétrica e minimizar o desgaste dos componentes do motor, tendo assim a diminuição do custo com a manutenção. Além disso, os inversores oportunizam a maior produtividade e eficiência nos processos automatizados.

O desenvolvimento da eletrônica de potência trouxe com ele novas perspectivas em relação ao aproveitamento da eletricidade e suas aplicações. Atualmente, essa tecnologia está amplamente incorporada em diversos setores das indústrias, podendo oferecer os seguintes benefícios: domínio sobre os motores elétricos, controle das linhas de produção e dos variados tipos de acionamentos. O Controlador Lógico Programável e o inversor de frequência são os grandes responsáveis por exercer essa mudança significativa no controle de máquinas elétricas e seus processos. O capítulo a seguir descreve detalhadamente as características desses dois equipamentos.

3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

3.1 Introdução

Este capítulo tem por objetivo apresentar os conceitos básicos sobre os Controladores Lógicos Programáveis e os Inversores de Frequência, além de abordar o princípio de funcionamento e os componentes construtivos de cada um desses equipamentos, assim como suas características particulares.

3.2 Breve Histórico e Conceituação do CLP

Diante da crescente evolução tecnológica no início do século XX, equipamentos eletrônicos passaram a ser usados no setor industrial. Assim, tarefas exaustivas, repetitivas e perigosas, que antes eram executadas manualmente, passaram a ser realizadas por máquinas. Um dos principais equipamentos responsáveis por essa melhoria foi o Controlador Lógico Programável (CLP), projetado para substituir a automação executada por intertravamento de relés, com lógica fixa, através de operações sequenciais com lógicas dinâmicas. Franchi e Camargo (2008), assim definem CLP:

Um equipamento de estado sólido que pode ser programado para executar instruções que controlam dispositivos, máquinas e operações de processo pela implementação de funções específicas, como lógica de controle, sequenciamento, controle de tempo, operações aritméticas, controle estatístico, controle de malha etc. (FRANCHI & CAMARGO, 2008 pág. 29).

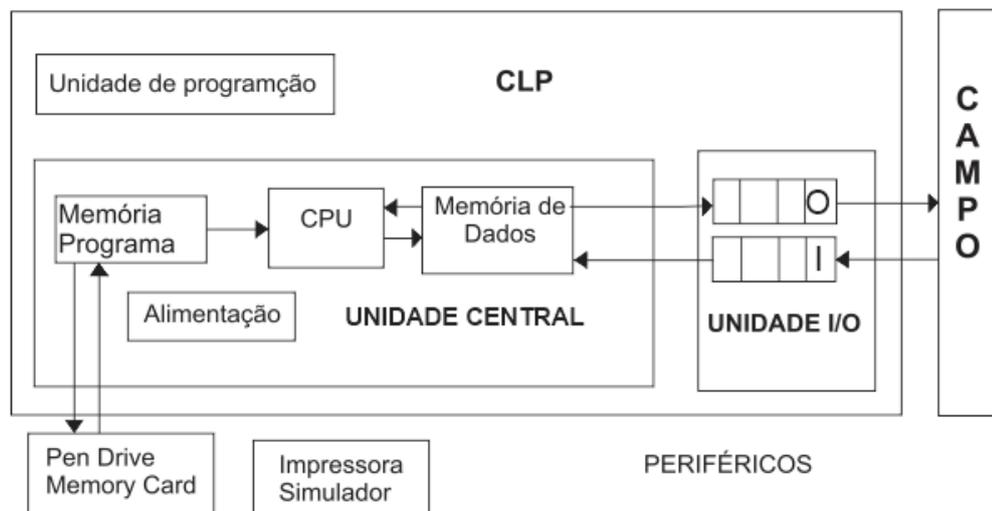
Assim, o CLP pode ser utilizado no controle de vários processos, visto que apresenta uma série de funções que podem ser executadas e armazenadas em sua memória (instruções, lógicas de relé, temporizador, contadores crescentes e decrescentes, operações matemáticas, lógicas booleanas, instruções de comparação, armazenamento de dados, etc.). A aplicabilidade do CLP é bastante ampla, pois pode ser utilizado em instalações industriais onde houver necessidade de manobra, controle e supervisão.

3.3. Estrutura e Princípio de Funcionamento do CLP

O CLP é um dispositivo que executa instruções com base em um conjunto de entradas e saídas. As entradas do CLP recebem um sinal do meio externo. Esse sinal é transmitido para o equipamento para que, em seguida, seja transformado em atividade no processo através das saídas. Segundo Prudente (2013), para que se execute esse processo, o CLP dispõe das seguintes unidades básicas:

- 1- Unidade central: organiza e controla todas as funções de controle
- 2- Unidade de entrada/saída: responsável por fazer a comunicação do CLP com dispositivos externos a ele.
- 3- Unidade de programação: responsável por fazer a interface homem-máquina por meio de teclados ou monitores.

Figura 3.1: Componentes Básico do CLP



Fonte: Prudente, 2013.

A figura 3.1 ilustra, em esquema de blocos, os principais componentes constituintes do CLP e demonstra o processo de transferência de dados em seu estado de funcionamento. A seguir será descrito de forma sucinta cada componente.

3.3.1 Unidade Central

A unidade central de processamento ou CPU (*Central Processing Unit*) é responsável por organizar todas as funções de controle e programação, além de ditar a performance de velocidade e potência do equipamento. Assim, para que o CLP apresente um bom funcionamento, é imprescindível que apresente uma velocidade de transmissão de dados compatível com a aplicação a ser executada.

Oliveira (2008) define CPU como “o elemento mais importante do CLP, este pode ser considerado o “cérebro”, ou seja, é o bloco que tem a função de ler os valores lógicos presentes nas entradas e fazer os dispositivos de saída atuarem em função da programação”. A unidade central é formada por três elementos principais: microprocessadores, memórias e fonte de alimentação. Prudente (2013), define esses elementos conforme descritos na tabela 3.1:

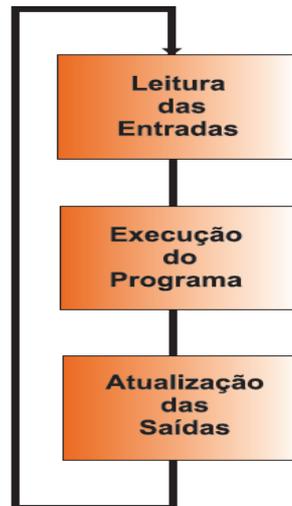
Tabela 3.1: Módulos Básicos do CLP

Componente	Definição
Microprocessador	Dispositivo que exerce operações lógicas e matemáticas, e as executa conforme uma sequência pré- definida.
Memória	Dispositivo de leitura e escrita, armazena programas desenvolvidos pelo usuário e pelo fabricante.
Fonte de alimentação	Fornece a tensão necessária ao funcionamento da CPU e os demais dispositivos.

Fonte: Adaptado de Prudente, 2013.

Segundo Franchi e Camargo (2008), o funcionamento da CPU é baseado em um ciclo de varredura (ciclo de scan), que representa o tempo para que três etapas sejam finalizadas. São elas: leitura dos dados de entrada, execução da programação armazenada e atualização dos dispositivos de saída. A figura 3.2 ilustra o diagrama das operações sequenciais da CPU.

Figura 3.2: Diagrama do ciclo de scan



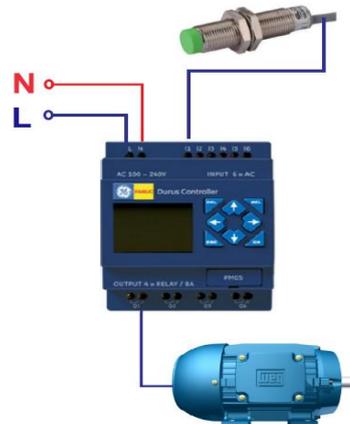
Fonte: Franchi e Camargo, 2008.

Portanto, é através do ciclo de scan que o CLP faz a execução do programa e confere os sinais de entrada e saída, fazendo com que o equipamento trabalhe de forma segura e eficaz.

3.3.2 Unidades de Entrada/Saída

As unidades de entrada e saída são responsáveis pela comunicação dos dispositivos externos (contator, motor, sensor, botoeira, etc.) e o processador do CLP (OLIVEIRA, 2008). A figura 3.3 ilustra um exemplo de dispositivos de entrada e saída atuando no CLP, no qual um motor é acionado através de um sensor de presença.

Figura 3.3: Exemplo de dispositivos de entrada e saída do CLP



Fonte: Elaboração Própria.

No exemplo ilustrado na figura 3.3, o dispositivo de entrada é o sensor de presença que recebe sinal do meio externo, converte em pulso elétrico e envia para o processador do CLP. Em seguida, o circuito de saída recebe esse sinal e, imediatamente, aciona o motor.

3.3.3 Unidade de Programação

Unidade de programação é a interface homem máquina (IHM), responsável por fazer a comunicação entre o usuário e o sistema a ser controlado, ou seja, é através dessa interface que o usuário se conecta com o CLP. Assim, a IHM surgiu para simplificar o trabalho do usuário devido ao seu fácil manuseio e eficiência ao desempenhar sua função.

A IHM é um periférico que pode ser um computador ou simplesmente um dispositivo portátil composto por teclado e display. Além de enviar informações ao CLP, a IHM também pode enviar sinais de atuação e monitoração em tempo real. A figura 3.4 ilustra alguns modelos de IHM.

Figura 3.4: Modelos de IHM



Fonte: Gomez e Parede, 2011.

3.4 Linguagem de Programação

A linguagem de programação tem como objetivo fazer com que o sistema do CLP reconheça instruções, ou seja, conheça comandos que possibilitam realizar determinadas atividades. No início, cada CLP apresentava suas instruções, porém essa situação foi modificada com a uniformização desses procedimentos.

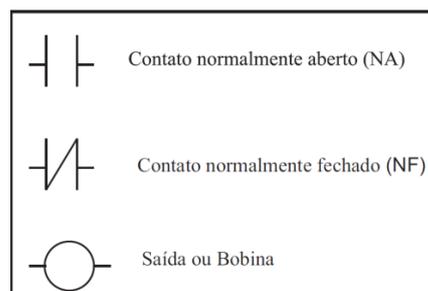
Dentre os tipos de linguagens, as mais usadas são as gráficas, devido à simplicidade e flexibilidade na hora de programar. Além disso, se baseiam em diagramas de blocos e esquemas elétricos, linguagens que engenheiros e técnicos já estão habituados. A seguir será apresentada uma das mais usadas linguagens de programação do CLP.

3.4.1 Diagrama Ladder

O diagrama Ladder foi umas das primeiras linguagens de programação criada para que técnicos e engenheiros tivessem facilidade na elaboração de programas. Por isso, seu *layout* foi fundamentado em esquemas elétricos e seu funcionamento baseado em instruções correspondente aos contatos normalmente abertos (NA) e contatos normalmente fechados (NF) dos relés (PRUDENTE, 2013).

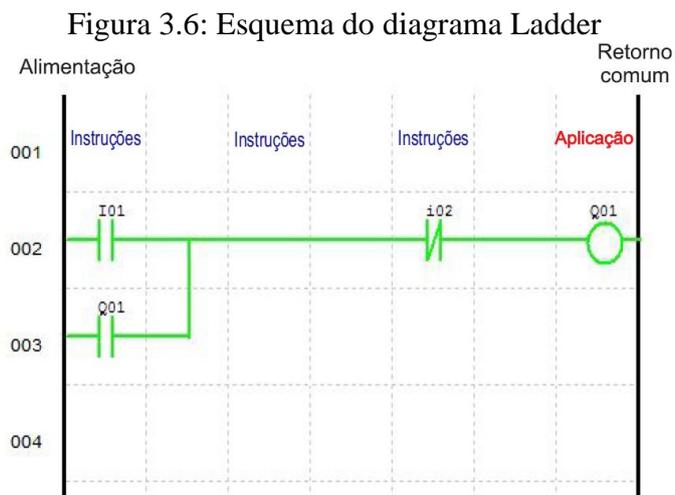
O Ladder utiliza dois tipos de símbolos: contatos e bobinas. Ambos permitem a implementação de função binária, ou seja, aceite apenas dois estados de funcionamento (0/1). Um contato NA fecha quando recebe um pulso, enquanto que um contato NF abre ao receber esse pulso. A figura 3.5 ilustra elementos básicos encontrados nos diagramas Ladder:

Figura 3.5: Elementos constituinte da linguagem Ladder



Fonte: Elaboração Própria.

A figura 3.6 apresenta um exemplo de diagrama Ladder, sendo formado por duas linhas verticais localizadas nas extremidades do diagrama. A linha da esquerda indica alimentação do sistema, enquanto a da direita é o retorno comum que conecta todos os elementos de saída. Nas linhas horizontais, são alocadas todas as instruções sequenciais de relé atribuídas ao sistema. Por fim, na última coluna estão localizados os dados de saída (aplicação), representando os dispositivos que são acionados pelo CLP.



Além do diagrama Ladder, também há outras linguagens gráficas que são utilizadas nos CLPs, tais como: a linguagem com diagrama de blocos e a linguagem com sequenciamento gráfico de funções. Em Prudente (2013) é possível obter mais informações sobre essas outras linguagens.

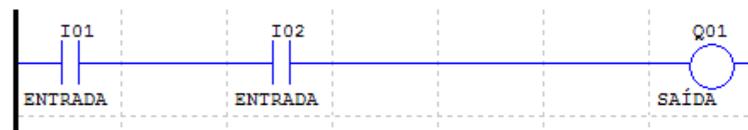
3.5 Instruções Básicas

Com o conhecimento acerca dos elementos básicos do diagrama Ladder, é possível elaborar circuitos combinacionais, ou seja, diagramas nos quais as entradas possuem apenas dois estados (fechado/aberto, desligado/ligado, representado pelos níveis lógicos 0/1) e que influenciam diretamente na saída. Os exemplos desses diagramas são apresentados a seguir:

3.5.1 Função AND (E)

A função AND é realizada com dois ou mais contatos em série. Logo, a saída só será acionada caso todas as entradas do circuito forem ativadas. A figura 3.7 ilustra o diagrama Ladder da função AND, enquanto que a tabela 3.2 demonstra as possíveis combinações de entradas com suas respectivas saídas (tabela verdade):

Figura 3.7: Representação da função AND em diagrama Ladder



Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 3.2: Tabela verdade função AND

I01	I02	Q01
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Fonte: Elaboração Própria

3.5.2 Função OR (OU)

A função OR é representada em Ladder por contatos de entrada em paralelo. No exemplo ilustrado na figura 3.8, a saída será acionada quando quaisquer das duas entradas forem ativadas. A tabela 3.3 ilustra as possibilidades de entradas e saídas desse circuito.

Figura 3.8: Representação da função OR em diagrama Ladder



Fonte: Elaboração Própria

Tabela 3.3: Tabela verdade função OR

I01	I02	Q01
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Fonte: Elaboração Própria

3.5.3 Função NOT (Não)

A função NOT é uma operação de negação e atua sobre uma única variável de entrada. O nível lógico de saída é sempre oposto ao nível lógico de entrada, ou seja, ele inverte o sinal da saída. A figura 3.9 ilustra o diagrama Ladder da função NOT e a tabela 3.4 ilustra as possíveis entradas e suas saídas.

Figura 3.9: Representação da função OR em diagrama Ladder



Fonte: Elaboração Própria

Tabela 3.4: Tabela Verdade função NOT

I01	Q01
0	1
1	0

Fonte: Elaboração Própria

Como foi exposto anteriormente, a linguagem Ladder é composta basicamente por contatos abertos e contatos fechados. Além desses elementos, há outras instruções que são necessárias no desenvolvimento da lógica de controle de processos. Como esses processos industriais evoluem em relação ao tempo ou em função de eventos externos é necessário a utilização de instruções sequencias, sendo formadas por dois elementos principais: temporizador e contador.

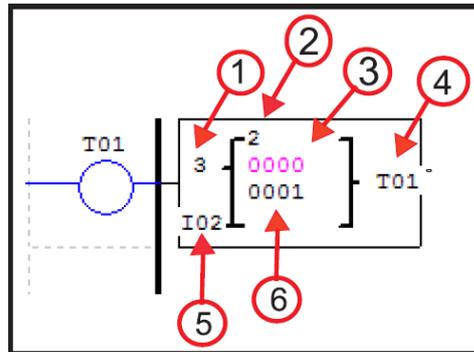
3.5.4 Temporizador

Em sistemas automatizados a variável tempo é muito importante para definir a qualidade de um serviço. Nesses casos, a função temporizador é utilizada para definir o intervalo de tempo entre duas operações, verificar se uma atividade ocorre durante um tempo determinado ou definir o tempo de duração de uma atividade. Podem existir três tipos de temporizadores nos CLPs:

- Temporizador na energização (TON): inicialmente uma entrada é habilitada e aciona a contagem do temporizador. Quando o valor de contagem se igualar ao valor determinado a saída do temporizador será acionada, passando do nível lógico “0” para o “1”.
- Temporizador na desenergização (TOFF): o temporizador ligará sua saída imediatamente após sua habilitação, porém quando essa entrada for desabilitada, a saída do temporizador ficará ativa durante o tempo determinado. Após o término da contagem o temporizador é desabilitado.
- Temporizador de pulsos (TP): quando a entrada do temporizador receber um pulso, sua saída alternará entre ligado e desligado. O tempo em que a saída permanece ligada e o tempo em que permanece desligada é o mesmo, sendo definido pelo tempo programado no temporizador.

A figura 3.10 ilustra um modelo de temporizador usado no CLP CLIC-02 da WEG e a tabela 3.5 descreve seus parâmetros de configuração.

Figura 3.10: Parâmetros do Temporizador



Fonte: Adaptado WEG, 2010.

Tabela 3.5: Parâmetros de Configuração Temporizador

Símbolo	Descrição
1	Base de tempo: 1:0,01s 2:0,1s 3:1s 4: 1min
2	Modo Temporizador: 0 ~ 7
3	Valor atual de tempo
4	Número do Temporizador: T01 ~ T07
5	Reset do Temporizador (opcional): Quando a entrada for ativada, o valor do temporizador será zerado e sua saída desabilitada
6	Tempo programado para o temporizador funcionar

Fonte: Adaptado WEG, 2010.

3.5.5 Contador

Contadores são utilizados para contar o número de vezes que um evento externo ocorre, como por exemplo a contagem de números de peças que um sensor detecta. Os tipos de contadores mais utilizados nos CLPs são:

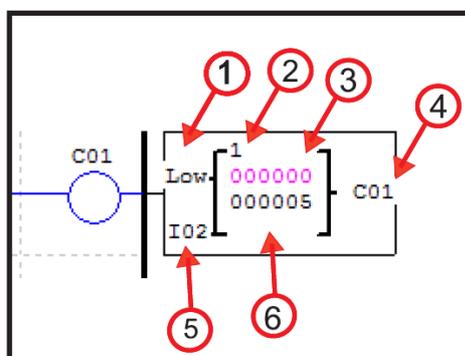
- Contador crescente: toda vez que a entrada do contador for habilitada, o contador incrementa uma unidade em sua memória, até atingir um valor predeterminado. Quando

o valor atual atingir o valor predeterminado a saída do contador será acionada, passando do nível lógico “0” para “1”.

- Contador decrescente: inicialmente o contador está com seu valor máximo predeterminado. No momento em que a entrada envia um pulso para o contador, esse valor máximo é decrementado em uma unidade, até o número de pulsos atingir o valor zero. Nesse momento a saída será acionada.

A figura 3.11 ilustra um modelo de contador usado no CLP CLIC-02 da WEG e a tabela 3.6 descreve seus parâmetros de configuração.

Figura 3.11: Parâmetros do Contador



Fonte: Adaptado WEG, 2010.

Tabela 3.6: Parâmetros de Configuração Temporizador

Símbolo	Descrição
1	Seleção da direção de contagem OFF: Contagem crescente ON: Contagem decrescente
2	Modo contagem: 0 ~ 7
3	Valor atual de contagem
4	Número do contador: C01 ~ C1F
5	Reset do Contador (opcional): Quando a entrada for ativada, o valor atual do contador será zerado e sua saída desabilitada
6	Número limite de contagem para ativar a saída

Fonte: Adaptado WEG, 2010.

3.6 Vantagens e Desvantagens do CLP

A utilização de Controladores exibe aspectos positivos que advém de sua capacidade de armazenar informações. Prudente (2013), faz comparativos entre as vantagens e desvantagens do uso dos CLPs nas indústrias. A tabela 3.7 mostra algumas vantagens e desvantagens do CLP.

Tabela 3.7: Vantagens e Desvantagens do CLP

Vantagens	Desvantagens
Flexibilidade: variação simples da programação através de computadores.	Nova tecnologia: nem sempre a empresa ou indústria se adequa às novas tecnologias.
Facilidade de programação: apresenta uma linguagem conhecida por técnicos e engenheiros.	Aplicação fixa: algumas aplicações têm apenas uma função que não pode sofrer alteração.
Velocidade de operação: o CLP possui uma resposta rápida ao executar uma tarefa.	Condições ambientais extremas: dispositivos eletrônicos expostos a lugares com alta temperatura ou fortes distúrbios eletromagnéticos sofrem alteração no seu funcionamento.

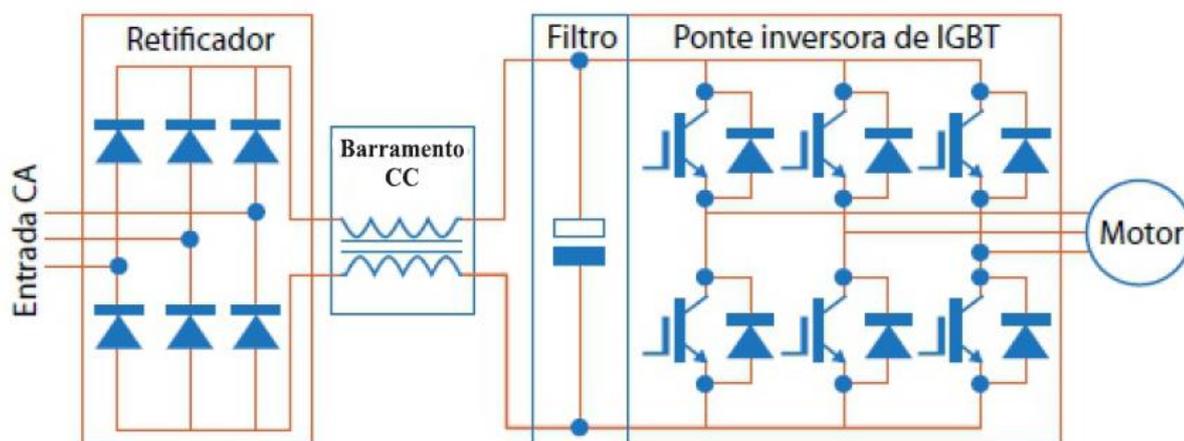
Fonte: Adaptado de Prudente, 2013.

As vantagens do CLP, quando comparadas aos antigos sistemas de controle são extremamente superiores em vários aspectos (economia, flexibilidade, qualidade de produção, segurança e etc.). Portanto, o diferencial do CLP deve-se ao fato de possuir característica de programação, que torna o seu uso mais eficiente.

3.7 Inversores de Frequência

Como visto anteriormente no capítulo 2, os inversores de frequência acionam e controlam a velocidade de rotação dos motores elétricos. Seu funcionamento se baseia em um circuito de potência que possui três componentes principais: retificador, barramento CC e inversor. Como ilustra a figura 3.12:

Figura 3.12: circuito de potência



Fonte: SENAI, 2012.

O inversor recebe uma tensão de entrada CA com frequência fixa em 60Hz em sua entrada, sendo transformada pelo retificador em contínua. Essa mudança na forma de onda é feita por um circuito retificador formado por diodos, que permitem a passagem de corrente em apenas uma direção. Com isso, a tensão alternada é convertida em uma tensão contínua pulsante.

Em seguida, a tensão contínua é conectada aos terminais de saída do inversor através de um circuito intermediário denominado barramento CC. A saída do inversor é, geralmente, formada por transistores bipolares de porta isolada (*Insulated Gate Bipolar Transistor- IGBT*) que, através de um chaveamento de suas bases, convertem a tensão contínua em tensão alternada variável, utilizando a técnica de modulação por largura de pulsos PWM (*Pulse Width Modulation*).

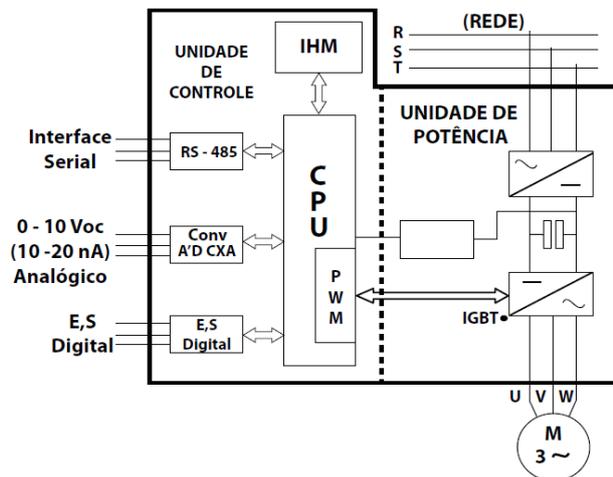
Esse controle é feito por circuitos de comando das chaves semicondutoras. Por meio do circuito de chaveamento dos transistores é possível variar tanto a tensão como a frequência de saída do inversor, o que possibilita o controle da velocidade e torque dos motores de indução. No entanto, além do circuito de potência o inversor possui outros componentes muito importantes para seu funcionamento.

3.8 Estrutura Física do Inversor de Frequência

Os inversores de frequência apresentam construções similares, independentemente do fabricante ou modelo. Além do circuito de potência, os inversores são formados basicamente por três componentes. Segundo Franchi (2014), os componentes básicos são divididos da seguinte forma:

- 1- Unidade central de processamento (CPU);
- 2- Interface homem/máquina (IHM);
- 3- Interfaces.

Figura 3.13: Blocos Componentes do Inversor de Frequência



Fonte: SENAI, 2012.

3.8.1 Unidade Central de processamento (CPU)

A CPU de um inversor de frequência pode ser formada por um microprocessador ou microcontrolador. Nesse bloco estão armazenadas todas as informações (parâmetros e dados do sistema). Além de armazenar esses dados, a CPU tem como função executar a geração de pulsos de disparos para os IGBTs, através de uma lógica de controle (FRANCHI, 2009).

3.8.2 Interface homem/máquina (IHM)

A IHM é um dispositivo que permite visualizar o que acontece em tempo real, bem como parametrizá-lo de acordo com a aplicação. Por meio da IHM é possível visualizar grandezas como tensão, corrente, frequência, etc. Além de executar outras funções, tais como: ligar e desligar o inversor, variar a velocidade, alterar parâmetros, entre outros (FRANCHI, 2009).

3.8.3 Interfaces

As Interfaces são as unidades responsáveis por fazer a troca de informação entre o meio externo e a CPU do inversor. Essas interfaces são os blocos de entradas e saídas digitais, entradas e saídas analógicas e, por fim, a porta de comunicação serial (SENAI, 2012).

Portanto, no módulo de controle do inversor é realizada uma troca de informações entre a CPU e o usuário. As interfaces responsáveis pelo fluxo de informações são: os blocos digitais, analógicos, seriais e as IHMs. Em relação ao circuito de potência, o controle do chaveamento dos IGBTs, para controlar o torque do motor, pode ser feito de duas maneiras: via controle escalar e controle vetorial.

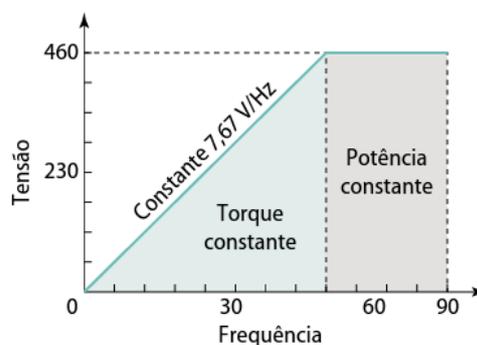
3.9 Controle Escalar

O controle escalar em inversores de frequência é aplicado em motores de indução convencionais sem nenhum sistema de realimentação. Esse tipo de controle deve executar tarefas simples que não necessitam de elevada precisão, controle de conjugado, grandes acelerações e frenagens. Seu princípio de funcionamento baseia-se no controle da tensão e frequência do motor, visando manter a relação V/Hz constante. Por esse motivo, o usuário pode controlar o tempo de aceleração e desaceleração do motor.

O limite de variação não deve exceder o valor máximo de frequência, caso isso ocorra o fluxo magnético do entreferro é reduzido, conseqüentemente o conjugado também diminui. Além disso, a habilidade de manter o alto conjugado de saída em baixas velocidades cai

significativamente. A figura 3.12 ilustra um exemplo do comportamento de um motor com tensão nominal de 460 V e frequência de 60 Hz.

Figura 3.14: Relação Tensão x Frequência



Fonte: Petruzella, 2013.

Nota-se que a relação V/Hz é constante, assim é possível controlar o torque do motor. Se o valor da frequência for 30 Hz a velocidade do motor cai pela metade. No entanto, o gráfico mostra que acima de 60 Hz a tensão estabiliza em seu valor nominal (460V), a partir desse ponto o conjugado do motor começa a diminuir (PETRUZELLA, 2013).

3.10 Controle Vetorial

Inversores que possuem controle vetorial são equipamentos mais sofisticados, pois podem ser utilizados em aplicações que necessitam manipular a velocidade do motor com respostas rápidas e de alta precisão. Para isso, o motor elétrico deve fornecer um controle preciso do conjugado para uma faixa extensa de operações. No entanto, em motores de indução a corrente do estator é responsável por gerar a corrente de magnetização e a corrente produtora do conjugado, não sendo possível executar um controle direto.

Conforme Franchi (2014), no inversor vetorial é feito um cálculo da corrente de magnetização e da corrente produtora do conjugado, para calcular todas as possíveis condições de velocidade e conjugado. Esse cálculo envolve medições de variáveis como resistência do estator e do rotor, indutância do estator e do rotor, frequência, velocidade do eixo, etc. dependendo do modelo e aplicação do motor a quantidade de parâmetros variam.

Sendo assim, existem dois tipos de implementação de controle vetorial: sem alimentação e com realimentação. Controle vetorial sem alimentação (*sensorless*), apresenta limitações quando o torque a ser controlado é em baixa rotação. Se comparado com a técnica V/Hz esse tipo de controle apresenta melhorias. O controle vetorial com realimentação pode ser feito por sensores de corrente ou sensores de posição (*Encoders*), nos quais coletam o sinal vindo do eixo do motor. Esses inversores conseguem excelentes características de regulação e repostas dinâmicas.

Dessa maneira, existem dois métodos de acionamento bastante utilizados para exercer o controle de velocidade em inversores de frequência. Sendo que para funções mais simples, costuma-se usar o controle escalar, enquanto que para trabalhos mais complexos com resposta rápida e alta precisão utiliza-se os inversores com controle vetorial.

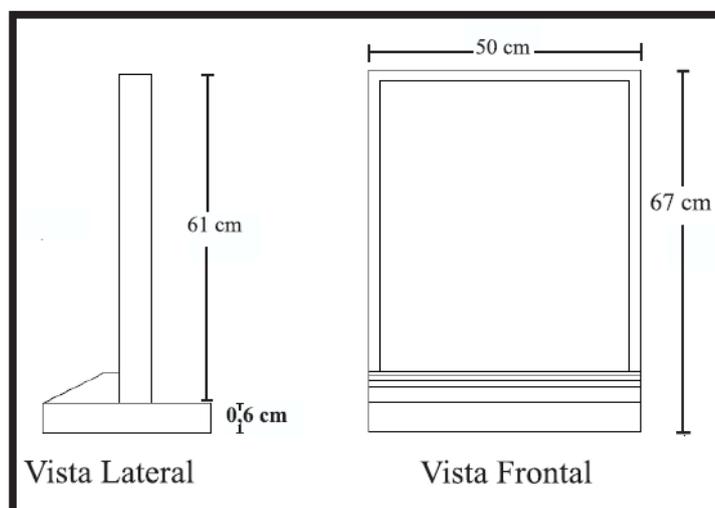
4 DESCRIÇÃO DA BANCADA DE ACIONAMENTO

Neste capítulo, a bancada didática para acionamento de motores será descrita em suas particularidades, bem como serão apresentados os dispositivos elétricos e eletrônicos utilizados nos acionamentos.

4.1 Descrição Física da Bancada Didática

A bancada é composta por uma estrutura de madeira em formato retangular, possuindo 67 cm de altura x 50 cm de largura, como ilustra a figura 4.1. O modelo é constituído de material leve e compacto, com o objetivo de facilitar o transporte. Esses fatores contribuem de maneira considerável para a operacionalização dos módulos.

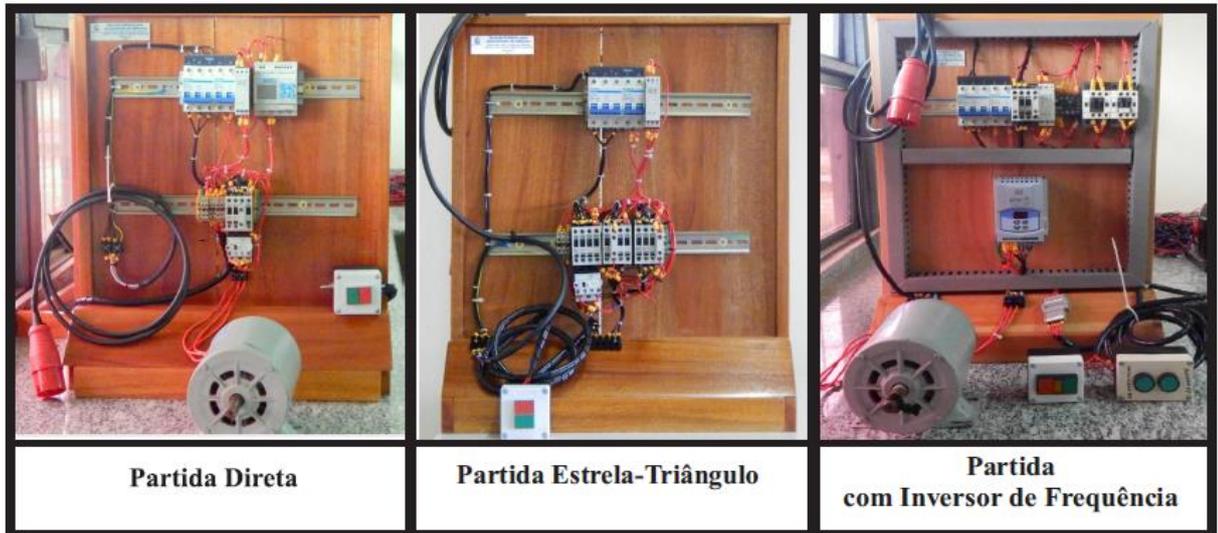
Figura 4.1: Vista lateral e Vista Frontal da Bancada



Fonte: Elaboração Própria

A bancada apresenta dois trilhos DIN de 35 mm que são usados para fixar os componentes. Esses trilhos estão alinhados paralelamente em sentido horizontal. A figura 4.2 ilustra três dos possíveis esquemas de montagem dos dispositivos para proteção e acionamento de motores elétricos que podem ser executados na bancada.

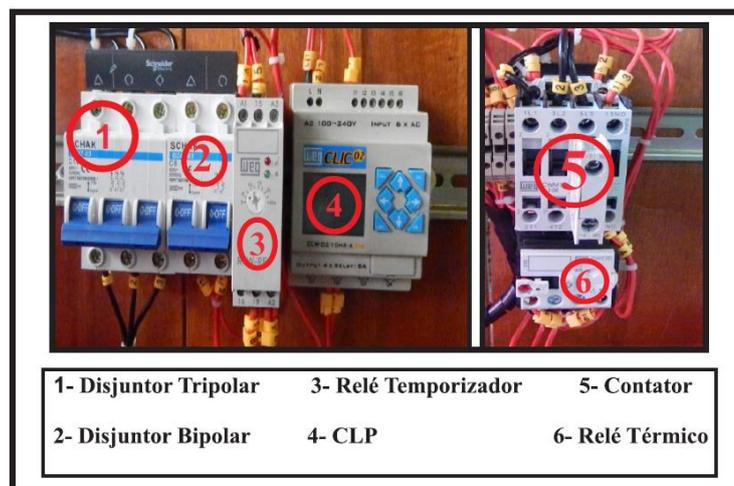
Figura 4.2: Módulos Didáticos de Acionamento



Fonte: Elaboração Própria

O módulo localizado na esquerda da figura 4.2, possui uma partida direta que apresenta três possibilidades de execução. Uma delas de forma manual, através dos componentes de manobra (botoeiras), a segunda acionada por meio de um relé temporizador e o último acionamento ocorre de forma controlada, utilizando um CLP. A figura 4.3 identifica os componentes localizados na partida direta.

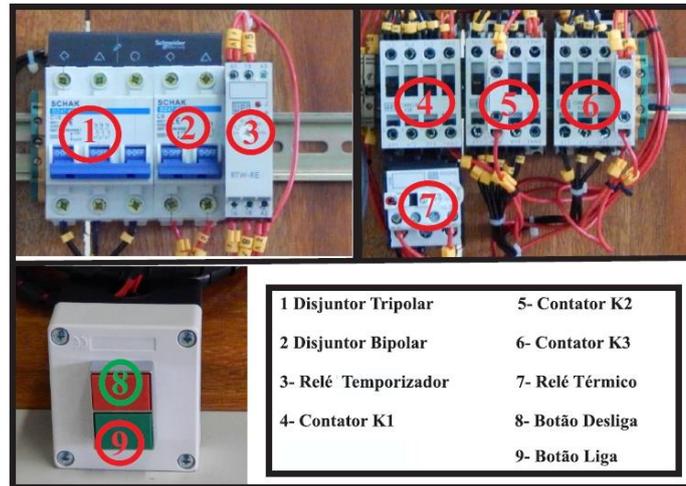
Figura 4.3: Identificação dos Componentes da Partida Direta



Fonte: Elaboração Própria.

O módulo localizado no centro da figura 4.2, apresenta um acionamento através da chave estrela- triângulo. A figura 4.4 identifica os componentes presentes nesse tipo de partida.

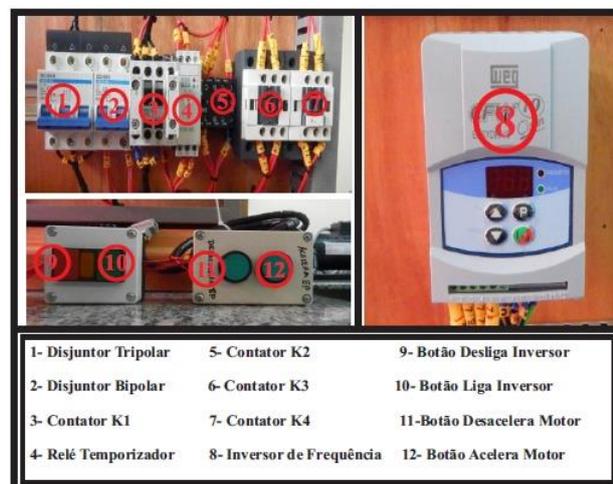
Figura 4.4: Identificação dos Componentes da Partida Estrela-Triângulo



Fonte: Elaboração Própria.

Por fim, o último módulo com um inversor de frequência, com finalidade de executar a variação da velocidade do motor elétrico. A figura 4.5 identifica os componentes presentes nesse tipo de partida.

Figura 4.5: Identificação dos Componentes da Partida Eletrônica por Inversor de Frequência



Fonte: Elaboração Própria.

Logo, observa-se que a bancada oferece a capacidade de manusear livremente os componentes, visto que as configurações elétricas dos circuitos podem ser alteradas conforme os experimentos preestabelecidos.

4.2 Descrição dos Componentes Elétricos e Eletrônicos da Bancada

Para a execução dos acionamentos citados no item 4.1, utiliza-se na bancada componentes elétricos e eletrônicos. Esses componentes estão presentes tanto no circuito de força, que recebe as cargas a serem acionadas, quanto no circuito de comando, que é responsável pela lógica de acionamento. A tabela 4.1 mostra o quantitativo dos principais dispositivos utilizados na bancada.

Tabela 4.1: Quantitativo dos Equipamentos

DISPOSITIVOS PARTIDA DIRETA	
PRODUTO	QUANTIDADE
Disjuntor Tripolar SCHAK DZ47-63	1
Disjuntor Bipolar SCHAK DZ47-63	1
Contator WEG CWM18	1
Relé Térmico WEG RW27	1
DISPOSITIVOS PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO	
PRODUTO	QUANTIDADE
Disjuntor Tripolar SCHAK DZ47-63	1
Disjuntor Bipolar SCHAK DZ47-63	1
Contator WEG CWM18	3
Relé Térmico WEG RW27	1
Relé Temporizador WEG RTW-RE	1
DISPOSITIVO PARTIDA ELETRÔNICA/ CONTROLADA	
PRODUTO	QUANTIDADE
Inversor de Frequência WEG CFW10	1
CLP WEG CLIC02	1

Fonte: Elaboração Própria.

Após apresentação dos principais equipamentos que compõem a bancada, a seguir será feita a descrição detalhada desses componentes.

4.2.1 Disjuntor Tripolar

O disjuntor é um dispositivo de segurança para circuitos elétricos contra sobrecargas elétricas ou curtos-circuitos e que tem a função de interromper a passagem de corrente. Além dessa função, o disjuntor serve também como dispositivo de manobra. A figura 4.6 apresenta o disjuntor utilizado na bancada.

Figura 4.6: Disjuntor Tripolar



Fonte: Elaboração Própria

O disjuntor tripolar é usado para receber as três fases de alimentação elétrica diretamente da rede, atuando na proteção dos circuitos de força e comando. A tabela 4.2 apresenta as características nominais do disjuntor.

Tabela 4.2: Características nominais do disjuntor tripolar

Disjuntor Tripolar SCHAK DZ47-63	
Corrente Nominal	16 A
Tensão Nominal	220/440 V
Corrente de Interrupção	4 KA

Fonte: Elaboração Própria

4.2.2 Disjuntor Bipolar

O disjuntor bipolar atua nas duas fases do circuito elétrico, sendo responsável por energizar o circuito de comando, possuindo as seguintes aplicações: proteção e derivação do

circuito de força para o circuito de comando. A figura 4.7 ilustra o modelo do disjuntor utilizado na bancada.

Figura 4.7: Disjuntor Bipolar



Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 4.3 apresenta suas características nominais

Tabela 4.3: Características Nominais do Disjuntor Bipolar

Disjuntor Bipolar SCHAK DZ47-63	
Corrente Nominal	6 A
Tensão Nominal	220/440 V
Corrente de Interrupção	4 KA

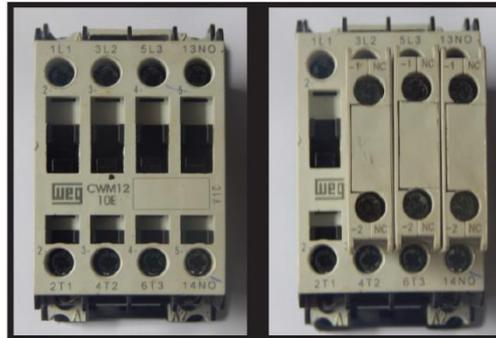
Fonte: Elaboração Própria

4.2.3 Contator

O contator é um dispositivo de controle para acionamentos elétricos presente em circuitos em que há uma alta intensidade de corrente. Composto por uma bobina e dois núcleos, sendo um móvel e outro fixo, seu funcionamento se baseia em princípios eletromagnéticos. Assim, com a passagem de corrente na bobina, é gerado um campo magnético responsável por atrair os núcleos, energizando o circuito no qual o contator está inserido.

Além da bobina e dos núcleos fixo e móvel, o contator apresenta contatos normalmente fechados (NF) e normalmente abertos (NA), que acionam dispositivos de manobra. Dependendo do modelo do contator, podem-se adicionar blocos de contatos auxiliares através de componentes NA e NF flexíveis. Um exemplo de contator é demonstrado na figura 4.8.

Figura 4.8: Contator WEG e seus Contatos Auxiliares Móveis



Fonte: Elaboração Própria.

A figura 4.8 ilustra um contator tripolar da WEG, modelo CWM18-10E, que foi utilizado na bancada, dispondo de um contato auxiliar normalmente aberto (NA) e tensão de alimentação de 220V. Além disso, verifica-se ao lado do contator a presença dos blocos adicionais de contatos conectados em seus terminais (NA e NF).

4.2.4 Relé Térmico

Relé térmico é um dispositivo de proteção para circuitos elétricos, cuja função é detectar sobrecargas em motores. Esse equipamento utiliza um elemento térmico baseado no modelo térmico do motor que se quer proteger. O relé tipo tripolar, possui três elementos condutores conectados em série com os terminais do motor. Sendo assim, seus contatos auxiliares são acionados quando o limite de corrente é excedido, fazendo com que os bimetálicos sofram deformação originada pela elevação de temperatura. A figura 4.9 apresenta um relé térmico.

Figura 4.9: Relé Térmico



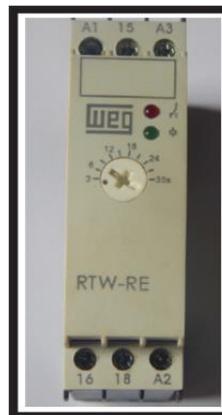
Fonte: Elaboração Própria

O relé usado na bancada é o da marca WEG, conforme ilustra a figura 4.9. Modelo RW27 com as seguintes especificações: relé de sobrecarga bimetalico com sensibilidade contra falta de fase, compensação de temperatura, rearme manual ou automático, montagem direta aos contadores e minicontadores, possuindo contatos auxiliares (NA e NF).

4.2.5 Relé Temporizador

Relés temporizadores são equipamentos que após serem energizados ou desenergizados comutam seus contatos com atraso (tempo). Podem ser regulados de acordo com as necessidades da instalação e possuem um funcionamento semelhante a um contato auxiliar, porém sua comutação não ocorre simultaneamente à alimentação do circuito. Portanto, de forma simplificada, quando o relé é alimentado por uma fonte de energia, ele altera os estados dos próprios contatos após um período de tempo preestabelecido. A figura 4.10 ilustra o modelo do relé temporizador utilizado na bancada.

Figura 4.10: Relé Temporizador



Fonte: Elaboração Própria

O relé temporizador usado na bancada é de marca WEG, possui dois contatos auxiliares, um normalmente aberto (NA) e outro normalmente fechado (NF), com energização de 220/240V.

4.2.6 Inversor de frequência

Inversor de frequência consiste em um equipamento capaz de controlar a frequência elétrica. É bastante utilizado devido a sua eficiência no controle da velocidade de motores elétricos de indução trifásicos, conforme ilustra a figura 4.11.

Figura 4.11: Inversor de Frequência



Fonte: Elaboração Própria

O inversor será usado para executar partidas elétricas, controlar a velocidade de giro do MIT e possibilitar a visualização do procedimento de parametrização do equipamento, conforme os dados de especificação do motor. A tabela 4.4 apresenta as características nominais do inversor utilizado na bancada.

Tabela 4.4: Características nominais do inversor de frequência

Inversor de Frequência CFW10	
Potência Nominal	1 cv / 0,75 KW
Tensão de Entrada	Monofásica 200 ~ 240V
Tensão de Saída	Trifásica 220 ~ 240V

Fonte: Elaboração Própria

4.2.7 Controlador Lógico Programável (CLP)

A inserção do CLP no projeto consiste em executar a automação do acionamento do MIT no modo partida direta ou estrela-triângulo, oportunizando a automação e o controle do

tempo para a partida ser executada com o uso de um temporizador na linguagem Ladder. A figura 4.12 ilustra o modelo do CLP utilizado no projeto.

Figura 4.12: Controlador Lógico Programável (CLP)



Fonte: Elaboração Própria

O CLP usado no projeto será da marca WEG e modelo CLIC-02 com as seguintes características:

Tabela 4.5: Características nominais do CLP

WEG CLIC 02	
Tensão Nominal	100 ~ 240 V
Frequência	60 Hz
Número de Entradas	6 analógicas
Número de Saídas	4 a Relé

Fonte: Elaboração Própria

Os equipamentos citados nos itens anteriores estarão fixados na bancada para realização dos experimentos. Além disso, será necessário também o uso de motores de indução.

4.2.8 Motor trifásico de indução (MIT)

O motor de indução a ser acionado é do tipo gaiola de esquilo da marca Nova. A figura 4.13 ilustra o motor utilizado na bancada.

Figura 4.13: Motor de Indução Trifásico



Fonte: Elaboração Própria

A tabela 4.6 mostra os dados de placa do motor de indução:

Tabela 4.6: Dados de Placa do Motor de Indução

Dados de placa do motor de indução trifásico	
Potência Mecânica/ Potência Elétrica	1 cv/0,75 Kw
Frequência	60 Hz
R.P.M.	3460
Tensão	220/380
Corrente	3,1/1,8

Fonte: Elaboração Própria

Portanto, nesse capítulo foi apresentada detalhadamente a bancada de acionamento de motores de indução, demonstrando os componentes de segurança e controle utilizados em sua montagem. Ademais, observou-se que o protótipo tem como característica a versatilidade, devido à variedade de componentes presentes em seu kit didático.

5 RESULTADOS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Para se obter resultados foram realizados testes práticos na bancada, afim de garantir um bom funcionamento do motor. Primeiramente, executou-se a montagem dos circuitos elétricos (força e comando) e o fechamento das bobinas do motor em delta, com o objetivo de executar o acionamento tipo partida direta (conforme o Anexo A1). Em seguida, foi realizado, com um alicate amperímetro (Fluke Mod.376), as medições dos parâmetros de funcionamento do motor elétrico (corrente e tensão). Dessa forma, obteve-se os seguintes valores de tensão e corrente:

- 212 V de Tensão de alimentação do motor em pleno funcionamento;
- 3,2 A de corrente nominal por fase.

Portanto, os testes executados na bancada obtiveram resultados satisfatórios. Com isso o protótipo se mostra como uma possível ferramenta para estabelecer uma relação entre o campo técnico científico e as atividades práticas. Através desse protótipo, será possível reforçar aos alunos de engenharia os conhecimentos obtidos em sala de aula.

Como sugestão para trabalhos futuros e melhorias do protótipo, vale ressaltar que ao se utilizar sensores específicos no protótipo, proporcionará um aumento de variáveis a serem medidas, como rotação por minuto, temperatura do motor, torque realizado pelo motor, permitindo que o protótipo seja aplicado em diversos problemas, enfatizando ainda a questão da interdisciplinaridade no curso de Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. T. L. D. **Máquinas Elétrica para Automação: Motores Elétricos**. Itájuba: Unifei, 2004.
- CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- ELETROBRÁS (ET AL). **Motor elétrico: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2009.
- FILHO, J. M. **Instalações elétricas industriais**. 7ª. ed. [S.l.]: LTC, 2007.
- FRANCHI, C. M. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicação**. 2ª. ed. São Paulo: Érica, 2009.
- FRANCHI, C. M. **Acionamentos eletricos**. 4ª. ed. São Paulo: Érica, 2014.
- FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. D. **Controladores Lógicos Programáveis Sistemas Discretos**. 1ª. ed. São Paulo: Érica , 2008.
- JUNIOR, G. C. D. N. **Máquinas Elétricas: Teoria e Ensaios**. 4ª. ed. São Paulo: Èrica, 2011.
- KOSOW, I. I. **Máquinas elétrica e transformadores**. 15ª. ed. São Paulo: Globo, 2011.
- OLIVEIRA, P. **Curso de Automação Industrial**. 3ª. ed. Lisboa: ETEP, 2008.
- PACHECO, J. D. O.; BATISTA, F. A. B.; PETRY, C. A. Multi-Platform Education System of Frequency. **Industry Applications (INDUSCON), 2012 10th IEEE/IAS International Conference on**, Fortaleza, Novembro 2012. 6.
- PAREDE, I. M.; GOMES, L. E. L. **Eletrônica: Automação Industrial**. São paulo: Fundação Padre Anchieta, v. VI, 2011.
- PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- PINHEIRO, P. C. D. C. **Desenvolvimento de Protótipo: Instrumento de Motivação e Ligação das Disciplinas do Curso de Engenharia**. XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE). Ouro Preto: [s.n.]. 2000.
- PRUDENTE, F. **Automação industrial PLC: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- SENAI. Técnicas de controle: soft-starters e inversor, Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <<http://www.senai.br>>. Acesso em: 23 out. 2015.
- TORO, V. D. **Máquinas Elétricas- Teoria e Ensaios**. 1ª. ed. São Paulo: LTC, 1999.
- VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência Enegetica: Aplicações**. 1ª. ed. Campinas: [s.n.], 2012.
- WEG. Guia de aplicação de inversores de frequência, Jaraguá do Sul, 2004. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 12 set. 15.
- WEG. Catálogo de motores elétricos, Jaraguá do Sul, 2006. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- WEG. **Manual do Usuário: Micro Controlador Programável CLIC-02**. Jaraguá do Sul: [s.n.], 2010.

ANEXO A – PARTIDA DIRETA PARA MOTORES TRIFÁSICOS A CONTATOR

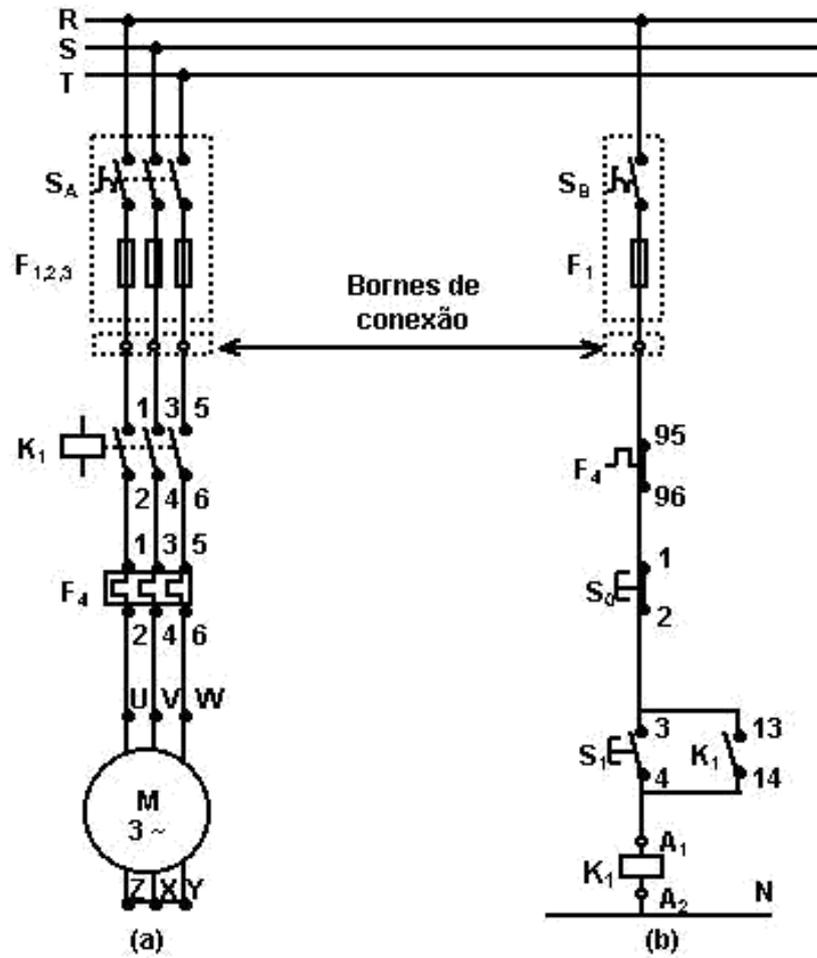
1.1 Material necessário à realização da tarefa:

- 01 Motor trifásico (220/380 V) com 6 terminais;
- Elementos de proteção do circuito (fusíveis ou disjuntores);
- 01 Botoeira S1 NA;
- 01 Botoeira S0 NF;
- 01 Contator tripolar 220 V (com um contato auxiliar 1NA);
- 01 Relé térmico F4;
- 01 Multímetro ou voltímetro de teste;
- Fios ou cabos

1.1.2 Procedimentos:

- Verifique com o auxílio do multímetro (voltímetro) qual é o nível de tensão da rede;
- Verifique a placa de dados do motor, nela devem estar contidos todos os parâmetros necessários ao funcionamento perfeito do motor. Os parâmetros devem ser seguidos a rigor;
- Verifique se o esquema de ligação da placa do motor confere com esquema de ligação apresentado na Figura (a);
- Caso os esquemas de montagem da placa e do guia sejam iguais, faça as ligações elétricas adequadas, seguindo os esquemas de montagem apropriados e apresentados na Fig. (a) e (b);
- Depois de concluídas as ligações elétricas, coloque o motor para funcionar, através do acionamento da botoeira S₁ apresentada na Fig. (b); observe que o funcionamento do circuito de comando apresentado na Fig. (b) é idêntico ao apresentado na Fig. (b);
- Meça a tensão elétrica de funcionamento na entrada dos bornes de alimentação do motor, com auxílio do multímetro, conectando as pontas de prova em paralelo com os bornes a medir;
- Desligue o motor, através do acionamento da botoeira S0 (NF) e observe que os circuitos de comando e de força (motor) serão completamente desenergizados.

Figura A.1 : Esquemas de ligação para partida direta a contator, para motores trifásicos; a) circuito de força e b) circuito de comando



ANEXO B - PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO A CONTATOR - COMANDO TEMPORIZADO

2.1. Material necessário à realização da tarefa:

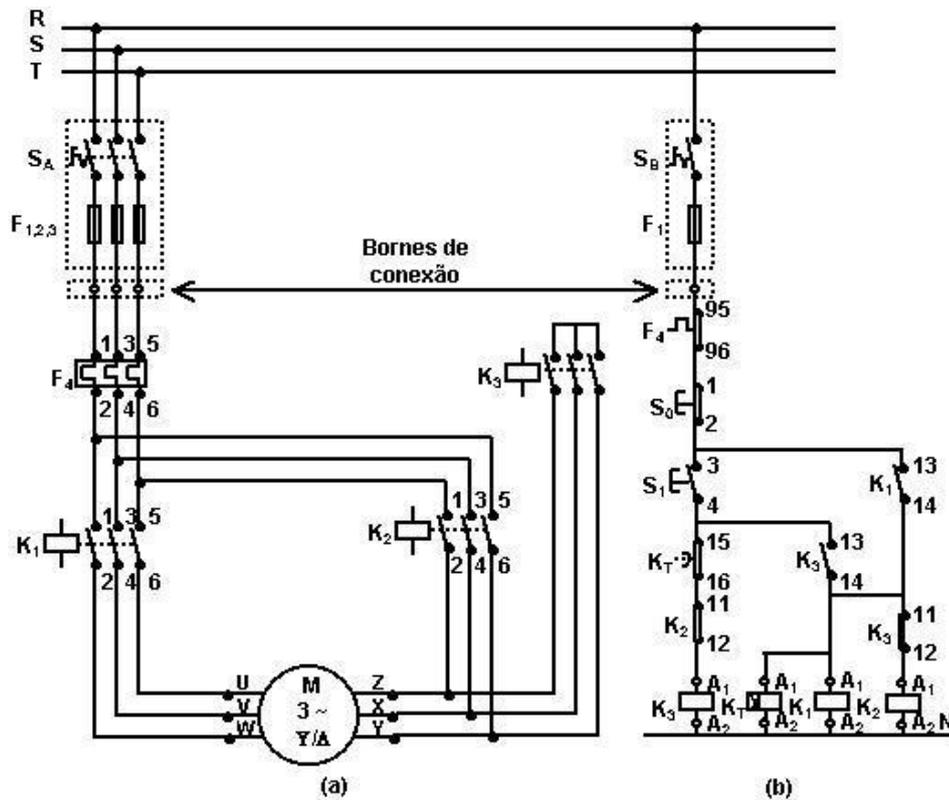
- 01 Motor trifásico (380/660 V) com 6 terminais;
- Elementos de proteção do circuito (fusíveis ou disjuntores);
- 01 Botoeira S1 NA;
- 01 Botoeira S0 [NF];
- 01 Relé temporizado [KT] (com um contato auxiliar 1NF);
- 01 Contator tripolar 220 V [K1] (com dois contatos auxiliares 1NA+1NF);
- 01 Contator tripolar 220 V [K2] (com um contato auxiliar 1NF);
- 01 Contator tripolar 220 V [K3] (com um contato auxiliar 1NA);
- 01 Relé térmico F4;
- 01 Multímetro ou voltímetro de teste;
- Fios ou cabos.

2.1.2 Procedimentos:

- Verifique com auxílio do multímetro (voltímetro) qual é o nível de tensão da rede;
- Verifique a placa de dados do motor;
- Verifique se o esquema de ligação da placa do motor confere com o esquema de ligação apresentada na Fig. (a), observe que neste tipo de ligação serão necessários dois tipos de conexões diferentes entre as bobinas do estator, sendo a ligação em estrela para a partida, e a ligação em triângulo para o regime normal de funcionamento do motor;
- Verifique cuidadosamente os esquemas de montagem da placa e do guia, observando quais as conexões necessárias para a ligação em estrela, e quais as conexões para a ligação em triângulo. Caso os esquemas sejam iguais, faça as ligações elétricas adequadas, seguindo os esquemas de montagem apropriados e apresentados nas Figs. (a) e (b);
- Ajuste o tempo de acionamento do relé temporizado para cerca de 05 segundos;
- Depois de concluídas as ligações elétricas coloque o motor para funcionar através do acionamento da botoeira S (NA) apresentada na Fig. (b), realizando assim uma ligação em estrela;

- Meça a tensão elétrica nos bornes de alimentação do motor, conectando as pontas de prova em paralelo com os bornes, verifique que nesse momento a tensão de alimentação do motor será a de maior valor pois o mesmo está em ligação estrela;
- Após cerca de 05 segundos o temporizado deverá realizar a ligação em triângulo automaticamente, observe que o temporizado está substituindo a botoeira S_2 , que seria a botoeira responsável pela mudança de ligação de estrela para triângulo;
- Meça a tensão elétrica nos bornes de alimentação do motor, conectando as pontas de prova em paralelo com os bornes, verifique que nesse momento a tensão de alimentação do motor será a de menor valor pois o mesmo está em triângulo;
- Desligue o motor, através do acionamento da botoeira S_0 (NF).

Figura B.1: Esquemas de ligação para partida estrela- triângulo temporizada a contator, a) circuito de força e b) circuito de comando



ANEXO C - PARTIDA DE MOTOR ELÉTRICO E VARIAÇÃO DE VELOCIDADE COM USO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

3.1 Material necessário à realização da tarefa:

- 01 Motor trifásico (380/660 V) com 6 terminais;
- Inversor de frequência WEG mod. CFW 10 127 / 220 v bifásico;
- 01 contator tripolar 220V [K1] (com um contato auxiliar NA);
- 01 Relé térmico F4;
- Manual de Instruções do inversor de frequência Weg mod. CFW – 10;
- Elementos de proteção do circuito (fusíveis ou disjuntores);
- 01 Multímetro ou voltímetro de teste;
- Fios ou cabos.

3.1.2 Procedimentos:

- Antes de iniciar qualquer etapa do experimento deve-se ler o manual atentamente para efetuar o procedimento com segurança;
- Verifique com o auxílio do multímetro (voltímetro) qual é o nível de tensão da rede;
- Antes de iniciar qualquer etapa do experimento deve-se ler o manual atentamente para efetuar o procedimento com segurança;
- Verifique a placa de dados do motor, nela devem estar contidos todos os parâmetros necessários ao funcionamento perfeito do motor. Os parâmetros devem ser seguidos a rigor;
- Verifique se o esquema de ligação da placa do motor confere com esquema de ligação apresentado na Figura 1(a);
- Para efetuar as conexões de alimentação do motor com o inversor de frequência deve-se levar em conta o que consta no manual em anexo;
- Efetue a parametrização do inversor de frequência de acordo com o manual e inserido os respectivos dados de placa do motor nos parâmetros do motor conforme manual em anexo;
- Acesse os parâmetros de limite de frequência para inserir a frequência mínima e a máxima de funcionamento do motor nos P133 e P134;

- Habilite o modo local para partir o inversor de frequência em modo local para que possa dar comando e assim acionar o motor elétrico P221 opção 0, conforme manual;
- Ligue o motor pressionando a tecla na IHM do inversor I e em seguida acesse os parâmetros de leitura e confirme os valores de tensão de saída, corrente de saída e frequência de trabalho nos seguintes parâmetros: P 003, P005 e P007;
- Desligue o motor, através do acionamento da tecla O na IHM do inversor e observe que os circuitos de força (motor) será completamente desenergizados.

Figura C.1: Exemplo de ligação do CFW10

