

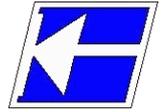
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Acionamentos Eletrônicos



GUIA DE ESTUDO

- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM -

ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO

COM CONTROLADORES LÓGICO

PROGRAMÁVEIS E INVERSORES DE

FREQUÊNCIA

Prof. Clóvis Antônio Petry.

Florianópolis, setembro de 2021.

ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO COM CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS E INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Objetivo de Aprendizagem

Acionamento de motores de motores de indução monofásicos e trifásicos.

Objetivos parciais

- Estudar os aspectos relacionados com o acionamento de motores de indução monofásicos e trifásicos;
- Conhecer os principais elementos para acionamento de motores de indução com controladores lógico programáveis e inversores de frequência;
- Conhecer circuitos para acionamento de motores de indução monofásicos e trifásicos.

Aulas relacionadas

Este objetivo de aprendizagem está relacionado com a aula 14 da disciplina.

Pré-requisitos

Ter estudado o objetivo de aprendizagem 13 relacionado ao acionamento de motores de indução trifásicos.

Continuidade dos Estudos

Os objetivos de aprendizagem da disciplina de Acionamentos Eletrônicos findam neste capítulo.

Roteiro para estudos

Os estudos referentes a este objetivo de aprendizagem consistem em:

1. Estudar este documento resumo, realizando as atividades propostas no mesmo;
2. Responder o quiz relacionado a este objetivo de aprendizagem;
3. Caso perceba necessidade, estudar a apresentação deste assunto ou consultar os livros texto indicados para esta disciplina;
4. Realizar os exercícios deste tópico da matéria;
5. Realizar a avaliação final para progredir ao próximo conteúdo.

Referências

- Material disponibilizado para a disciplina de Acionamentos Eletrônicos – 2021/1. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.
- STEPHAN, Richard M. Acionamento Comando e Controle de Máquinas Elétricas. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

Check-list

Caro estudante, verifique se você completou as atividades deste objetivo de aprendizagem e obteve êxito para continuar seus estudos.

Assinale as atividades realizadas:

Estudo do documento resumo:

- () Leitura do documento resumo;
- () Exercícios do documento resumo;
- () Atividade avaliativa do documento resumo.
- () Obtive êxito e entendi o conteúdo deste documento;
- () Ainda não entendi bem o conteúdo e estudarei o mesmo com mais profundidade.

Estou com dúvidas, irei estudar com mais detalhes este conteúdo:

- () Assistir a apresentação relacionada ao conteúdo (apresentação 14);
- () Ler este guia de estudo (objetivo de aprendizagem 14).

Ainda estou com dúvidas:

- () Entrarei em contato com o professor.

Obtive êxito, então seguirei em frente:

- () Responder ao quiz deste conteúdo no Moodle;
- () Informar ao professor que estou avançando com o conteúdo.

Parabéns, continue estudando com afinco e vamos em frente!!

CONTEÚDO

- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM -
ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO
COM CONTROLADORES LÓGICO
PROGRAMÁVEIS E INVERSORES DE
FREQUÊNCIA

1 Introdução

Os capítulos anteriores abordaram o acionamento dos motores de indução monofásicos e trifásicos com contadores, apresentando-se também os principais elementos que compõem os circuitos de acionamento.

Este capítulo terá como objetivo principal apresentar aspectos relevantes relacionados ao acionamento de motores de indução com controladores lógico programáveis e inversores de frequência.

1.1 Conteúdo – O que irei estudar

Estudaremos neste tópico:

- Principais elementos para acionamento de motores de indução;
- Circuitos para acionamento de motores de indução monofásicos e trifásicos.

1.2 Metodologia – O que devo fazer e como fazer

Leia com atenção o conteúdo a seguir. Ao final deste tópico são apresentados exercícios resolvidos. Após são apresentados alguns exercícios propostos.

Ao realizar estas atividades e se sentir confiante para progredir, siga os passos indicados na primeira página deste documento.

Espera-se que após estudar este assunto, você consiga:

- Descrever o que são controladores lógico programáveis;
- Descrever o que são inversores de frequência;
- Citar os principais elementos para acionamento dos motores de indução;
- Explicar o funcionamento dos circuitos de acionamento de motores de indução.

A atividade avaliativa deste objetivo de aprendizagem consistirá em perguntar ao estudante para descrever o funcionamento de um circuito de acionamento de um motor de indução trifásico, por exemplo.

Exemplo de atividade avaliativa:

1. Explicar com suas palavras o que são controladores lógico programáveis.
2. Explicar com suas palavras o que são inversores de frequência.
3. Citar elementos utilizados para acionamento de motores de indução.
4. Explicar o funcionamento de algum circuito de acionamento de motor de indução monofásico ou trifásico.

2 Controladores Lógico Programáveis

2.1 Introdução

Os principais elementos de circuitos de acionamento de motores monofásicos e trifásicos foram apresentados e estudados nos capítulos anteriores.

Apresenta-se a seguir os controladores lógico programáveis, dispositivos especializados muito utilizados para automação industrial, dentre outras aplicações.

2.2 Controlador lógico programável

O controlador lógico programável (CLP) é um dispositivo (equipamento) eletrônico de controle e monitoramento para diversas aplicações, principalmente industriais. Em termos de ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), o controlador lógico programável é um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais¹.

A Figura 1 mostra exemplos de controladores lógico programáveis comerciais, que podem ter diferentes interfaces com o usuário (IHM) e número variável de entradas e saídas.



Figura 1 – Exemplos de controladores lógico programáveis.

Fonte: <https://www.weeg.net>, <https://siemens.com> e <https://www.altus.com.br>. Acesso em 10/09/2021.

Os controladores lógico programáveis são equipamentos especializados, que possuem entradas para receberem os sinais de diferentes sensores (botoeiras, chaves fim de curso, sensores capacitivos, sensores de temperatura, etc.), realizam o processamento interno de sinais por intermédio de uma unidade central de processamento (CPU), permitindo a interação com o usuário usando interfaces homem-máquina (IHM) com teclados e displays e/ou conexão com computadores, e acionam, monitoram e controlam diferentes atuadores e cargas, tais como motores, servomotores, aquecedores, etc; conforme pode se observar na Figura 2.

¹ Controlador lógico programável. Acessado em 11/09/2021. Disponível em https://pt.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_program%C3%A1vel.

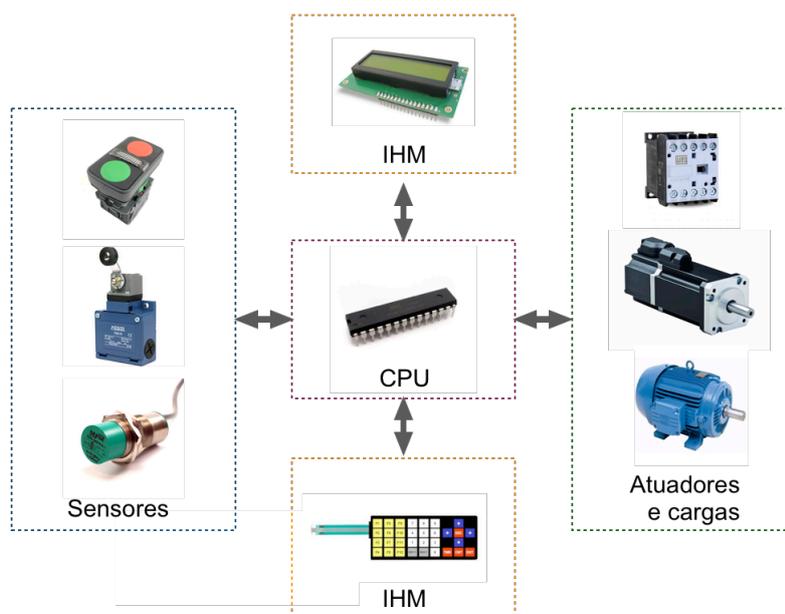


Figura 2 – Estrutura funcional de controladores lógico programáveis.

Assim, em síntese, pode-se entender um controlador lógico programável como a composição de diferentes elementos discretos, como mostrado na Figura 3, onde a partir de um Arduino, placa com botões e *display* e placa de relés, pode-se implementar as principais funcionalidades de um CLP.

A versão comercial da estrutura mostrada na Figura 3 é mostrada na Figura 4, possuindo 8 relés para saídas com 10 A de corrente elétrica, 8 entradas por meio de optoacopladores, microcontrolador ATMEGA328, módulo de conexão com internet, módulo de relógio, dentre outras características comuns para aplicações envolvendo a plataforma Arduino.

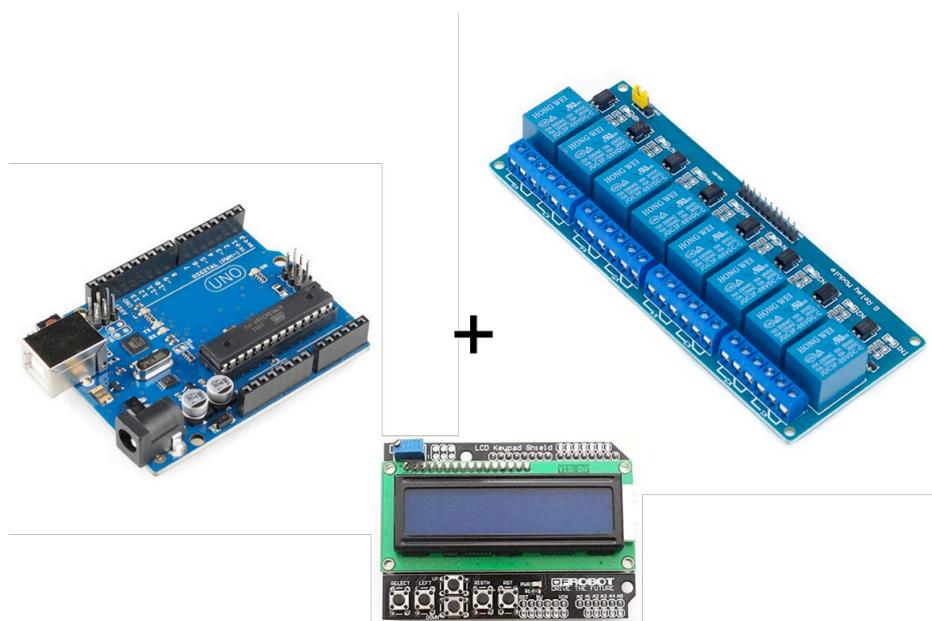


Figura 3 – Elementos discretos para implementação de um controlador lógico programável.

Fonte: Adaptado de <https://www.filipeflop.com>. Acesso em 10/09/2021.

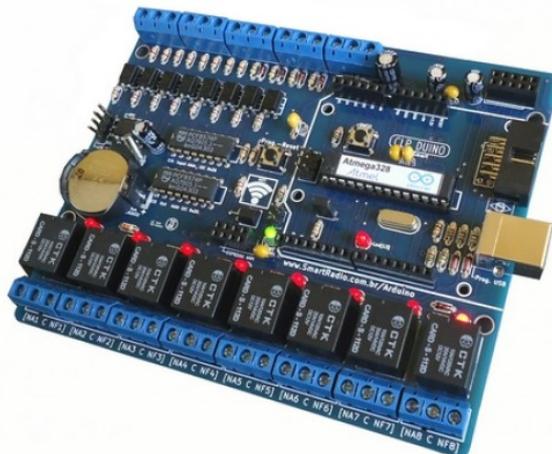


Figura 4 – Controlador lógico programável com Arduino.

Fonte: <https://clp.ind.br>. Acesso em 10/09/2021.

2.1 Linguagem ladder

Os controladores lógico programáveis, em geral, são conectados em computadores ou dispositivos próprios, para a programação dos mesmos, implementando as funcionalidades desejadas em soluções para automação industrial, por exemplo.

Assim, visando simplificar e facilitar o processo de programação do controlador lógico programável, pode-se utilizar diferentes linguagens de programação. Ao utilizar estruturas com Arduino, como mostrado na Figura 3, seria utilizada a linguagem de programação C ou a própria linguagem de programação do Arduino.

Em aplicações industriais, é comum o uso da linguagem ladder para realizar a programação dos controladores lógico programáveis de diferentes fabricantes, facilitando o uso e instalação pelos profissionais da área, além de simplificar alterações posteriores e manutenções nos circuitos implementados.

A linguagem ladder, também conhecida como diagrama ladder ou diagrama de escada, possui elementos gráficos específicos para representar cada elemento de circuito elétrico, tais como sensores, botões, bobinas, contatos, dentre outros.

A estrutura lógica dos diagramas ladder é mostrada na Figura 5, onde se representam os principais elementos da lógica ladder, que são os barramentos, ligações, contatos e saídas.

Os contatos podem ser elementos externos ao controlador lógico programável, como sensores ou botões conectados em suas entradas, ou internos, como contatos abertos e fechados de relés internos ao dispositivo. Do mesmo modo, as bobinas podem ser saídas para acionamento de elementos ou internas, representando elementos que são acionados logicamente pela abertura e fechamento dos contatos.

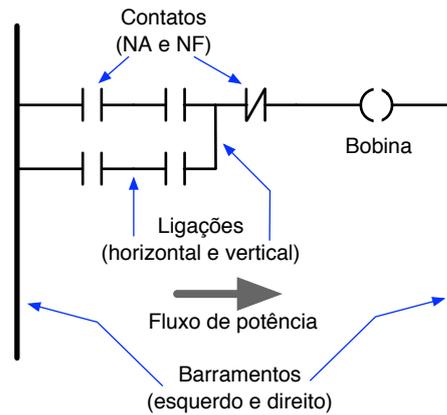


Figura 5 – Exemplo de diagrama ladder.

Fonte: Adaptado de <https://www.weq.net>. Acesso em 10/09/2021.

3 Inversores de Frequência

3.1 Introdução

Os inversores de frequência são equipamentos desenvolvidos utilizando circuitos de eletrônica de potência e semicondutores operando em altas frequências (dezenas de kHz), muito utilizados para acionamento de motores de indução com velocidade variável.

A seguir serão apresentados os inversores de frequência, nos seus aspectos mais básicos e exemplos de modelos disponíveis comercialmente.

3.1 Princípio de funcionamento dos inversores de frequência

A velocidade de um motor de indução pode ser alterada modificando-se o número de polos ou a frequência de alimentação da máquina, o que irá alterar a velocidade do campo girante, conforme estudado anteriormente neste curso.

A velocidade girante ou síncrona é calculada por:

$$N_s = \frac{120 \cdot F}{P} [rpm]$$

Onde:

- N_s – Velocidade do campo girante, denominada de velocidade girante ou síncrona em rotações por minuto (rpm);
- F – Frequência da rede de alimentação em Hertz;
- P – Número de polos formados no estator.

Neste sentido, os inversores de frequência tem por objetivo principal permitir o acionamento de motores de indução com velocidade variável, alterando-se a frequência de alimentação da máquina, desde zero até centenas de Hertz.

Os inversores de frequência são implementados a partir de conversores de corrente contínua para corrente alternada, em geral, inversores de tensão, como mostrado na Figura 6, também conhecido como conversor ponte completa PWM senoidal.

O acionamento dos interruptores T_1 até T_4 , comumente semicondutores do tipo IGBT (*insulated-gate bipolar transistor* - transistores de porta isolada), é realizado em alta frequência empregando modulação por largura de pulsos (PWM), neste caso seguindo um padrão senoidal, por isso denominada de PWM senoidal.

A partir do acionamento dos interruptores T_1 até T_4 , tem as diversas etapas de operação do conversor, que podem ser duas, desconsiderando-se as etapas de tempo morto, se a modulação for de dois níveis. Já para modulação três níveis o conversor terá quatro etapas de operação no semiciclo positivo (tensão de saída positiva) e outras quatro etapas no semiciclo negativo (tensão de saída negativa), desconsiderando-se o tempo morto.

O funcionamento detalhado e projeto destes conversores é estudado em cursos de eletrônica de potência, que fazem parte, comumente, dos cursos na área tecnológica de eletricidade e eletrônica.

As principais formas de onda para o conversor ponte completa PWM senoidal são mostradas na Figura 7, denotando a modulação três níveis e a tensão na carga após a filtragem, quando a mesma apresenta formato senoidal puro, desconsiderando-se a ondulação de alta frequência (ripple) presente na tensão sobre o capacitor de saída C_o .

No circuito da Figura 6, o indutor (L_o) e o capacitor (C_o) formam um filtro de segunda ordem, para filtrar o conteúdo de alta frequência (frequência de comutação) da tensão de saída do conversor (V_{ab}), disponibilizando na carga (R_o) uma tensão senoidal, como mostrado na Figura 7.

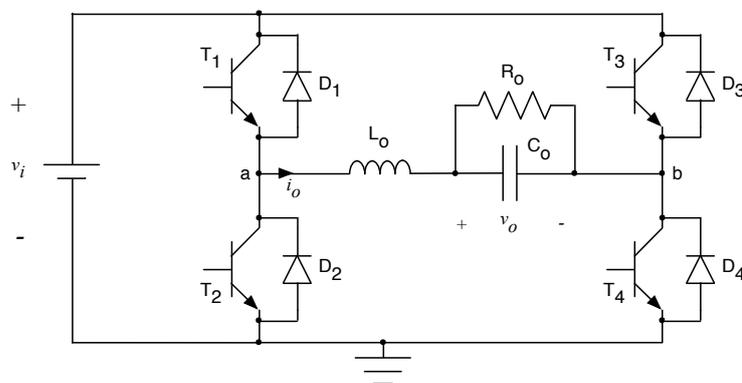


Figura 6 – Circuito do conversor cc-ca ponte completa PWM senoidal.

Ao utilizar um conversor ponte completa senoidal para acionamento de motores de indução, visando redução de custos e de volume do dispositivo, não se utilizou o filtro de saída (L_o e C_o), aplicando-se diretamente ao motor a tensão pulsada mostrada na Figura 7.

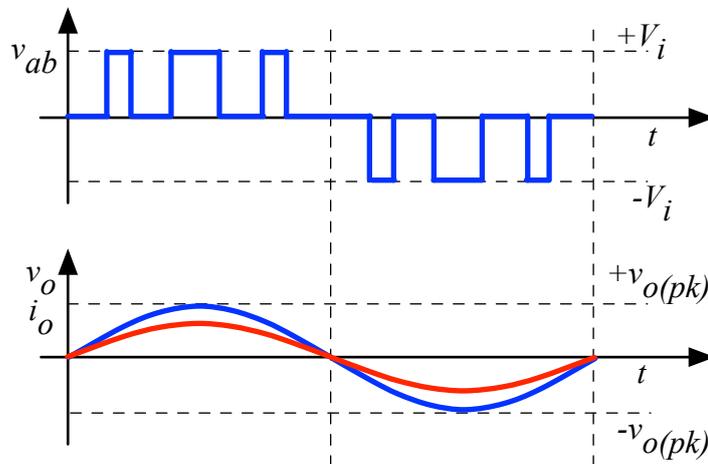


Figura 7 – Principais formas de onda para o conversor ponte completa PWM senoidal.

3.2 Inversores de frequência

Os inversores de frequência podem ter diferentes aspectos, tamanhos e capacidades elétricas, conforme as aplicações a que se destinam. A Figura 8 mostra exemplos de inversores de frequência disponíveis comercialmente.

O diagrama de blocos e principais elementos que compõem um inversor de frequência típico são mostrados na Figura 9 onde se pode destacar dois grandes blocos, sendo eles: estágio de potência e elementos de controle.

O circuito de potência utiliza conversores ca-cc e cc-ca, fazendo a conversão da tensão de alimentação em corrente alternada para corrente contínua, para posterior inversão por conversores ponte completa monofásicos ou trifásicos. Por sua vez, os principais elementos do circuito de controle são a interface homem-máquina (IHM), entradas digitais, e conexões com outros dispositivos, para operação em rede ou com integração para fins de automação industrial, por exemplo.

O diagrama de blocos da Figura 9 é de um inversor de frequência comercial, mostrado na Figura 12 e que permite o acionamento de motores trifásicos a partir de entradas monofásicas ou bifásicas, identificadas por L_1 e L_2 ou L e N .

O acionamento de motores monofásicos também pode ser realizado com inversores de frequência, mas não é uma aplicação tão comum, levando em conta o custo de aquisição e vantagens do motor trifásico, principalmente se for conectado em uma rede de alimentação monofásica com um inversor como o que está mostrado na Figura 9.



Figura 8 – Exemplos de inversores de frequência.

Fonte: <https://www.weq.net>, <https://siemens.com> e <https://new.abb.com>. Acesso em 10/09/2021.

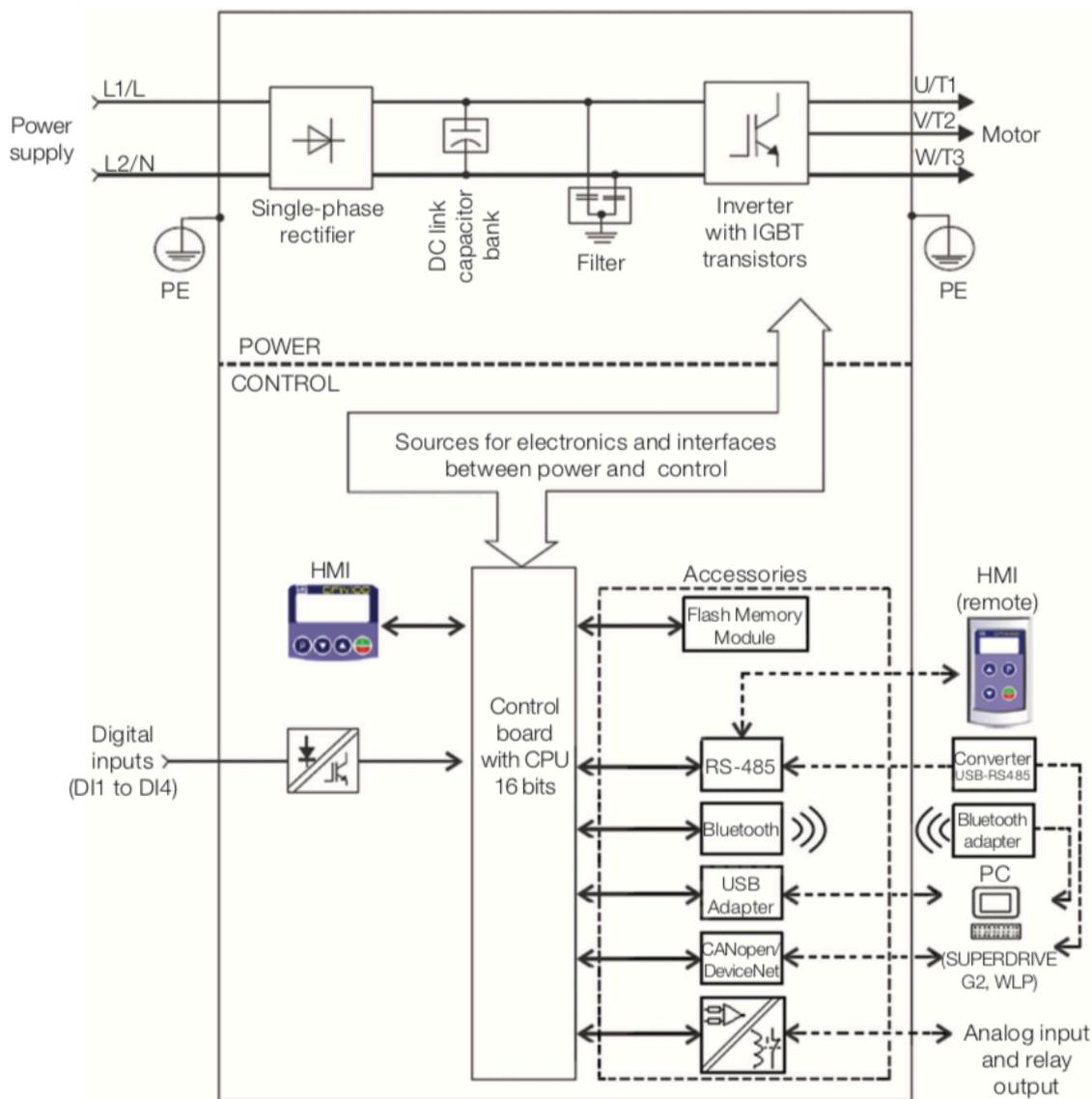


Figura 9 – Estrutura de blocos de um inversor de frequência.

Fonte: <https://www.weq.net>. Acesso em 10/09/2021.

4 Circuitos de Acionamento de Motores de Indução

4.1 Introdução

A seguir serão apresentados alguns circuitos de acionamento de motores de indução trifásicos, buscando-se mostrar o funcionamento básico dos mesmos e permitir que a partir destes diferentes soluções e circuitos sejam propostos e implementados.

4.2 Acionamento de motor de indução com controlador lógico programável

O controlador lógico programável, denominado pelo fabricante como micro controlador programável, mostrado na Figura 10, possui 8 entradas digitais e duas entradas analógicas, todas na parte superior, onde também se tem a conexão para a fonte de alimentação em corrente contínua. Na parte inferior se tem 4 saídas, formadas por contatos de relés com capacidade de 8 A em cada um dos contatos normalmente abertos (NA).

O circuito de acionamento de um motor de indução monofásico com o controlador lógico programável da Figura 10 é mostrado na Figura 11, onde se nota a utilização de uma fonte de alimentação de 220 V em corrente alternada para 24 V em tensão contínua para alimentação do dispositivo, enquanto duas botoeiras são conectadas às entradas digitais para ligar e desligar o motor, que é acionado pelo relé do CLP.



Figura 10 – Exemplo de controlador lógico programável para acionamento de motor de indução.

Fonte: www.weg.net. Acesso em 11/09/2021.

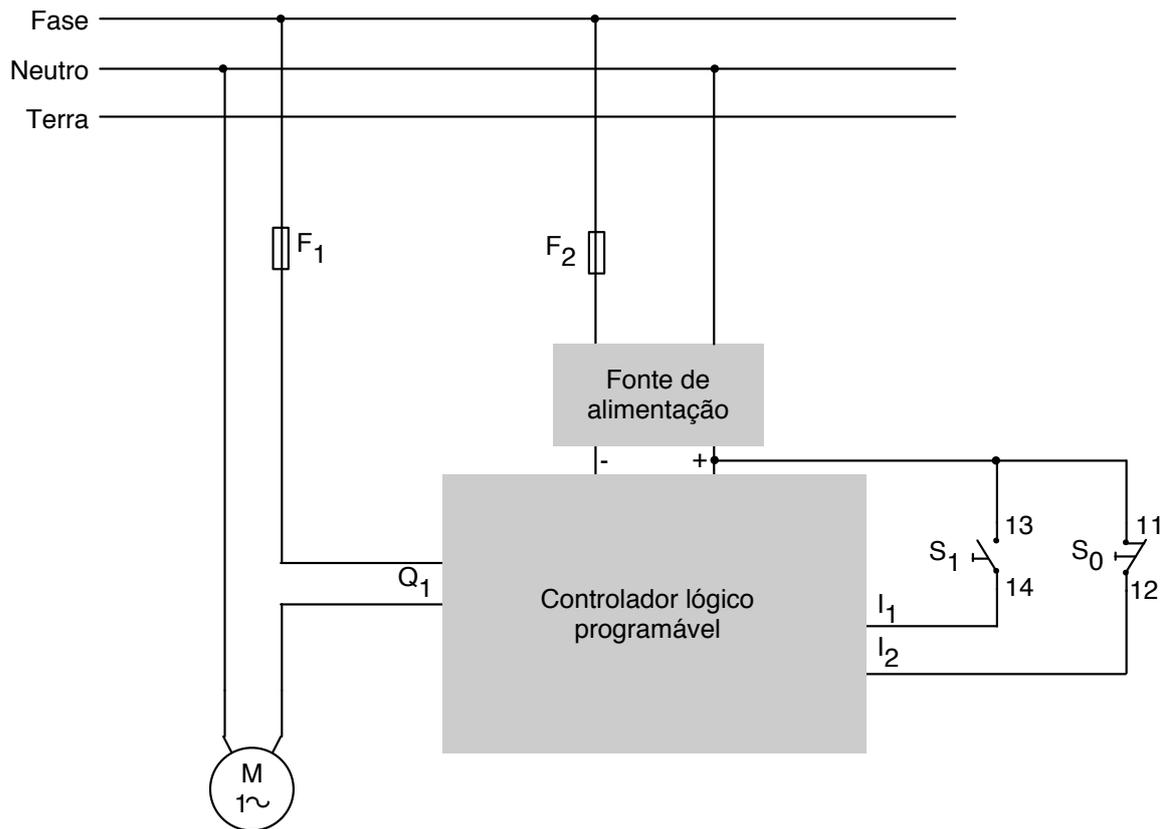


Figura 11 – Acionamento de motor monofásico com controlador lógico programável.

4.3 Acionamento de motor de indução com inversor de frequência

Um exemplo de inversor de frequência é mostrado na Figura 12, que pode operar com tensão de alimentação com dois fios, isto é, em uma rede monofásica, com amplitude entre 220 e 240 V, disponibilizando na saída conexão à três fios, ou seja, trifásica.

O circuito de acionamento de um motor de indução trifásico com o inversor de frequência da Figura 12 é mostrado na Figura 13, onde se nota a simplicidade do circuito e a conexão de um motor trifásico em uma rede de alimentação monofásica, caracterizando uma solução interessante para aplicações residenciais, comerciais e industriais de baixas e médias potências, por exemplo.



Figura 12 – Exemplo de inversor de frequência para acionamento de motor de indução.

Fonte: www.weg.net. Acesso em 11/09/2021.

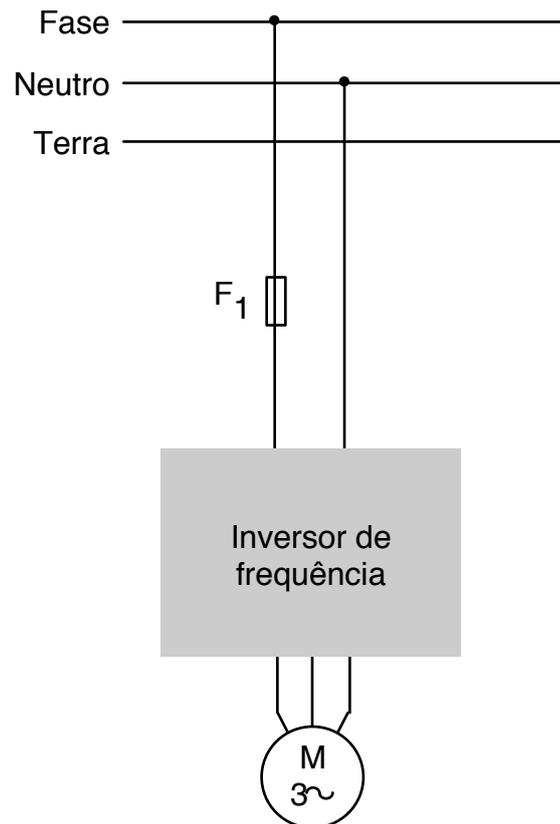


Figura 13 – Acionamento de motor trifásico com inversor de frequência.

5 Exercícios

Exercícios Resolvidos

ER 01. O que são CLPs?

CLPs são controladores lógico programáveis, dispositivos especializados utilizados para controle e monitoramento de diferentes cargas.

ER 02. Como pode ser alterada a velocidade de rotação de um motor de indução.

A velocidade de rotação de um motor de indução pode ser alterada modificando-se o número de polos ou a frequência da tensão de alimentação.

ER 03. Os inversores de frequência são construídos a partir de que conversores?

Os inversores de frequência são construídos a partir de conversores cc-ca, conhecidos como inversores de tensão.

ER 04. Cite uma vantagem na utilização de controladores lógico programáveis.

Uma vantagem ao utilizar controladores lógico programáveis é a possibilidade de integração de

diferentes elementos de acionamento, controle e monitoramento, permitindo a implementação da automação industrial.

ER 05. Os inversores de frequência utilizam que tipo de semicondutores?

Os inversores de frequência operam com altas frequências de comutação, da ordem de dezenas de kHz, utilizando interruptores rápidos, que podem ser do tipo MOSFET ou IGBT, por exemplo.

Exercícios Propostos

EP 01. Descreva os principais elementos que compõem um controlador lógico programável.

EP 02. Como funcionam, simplificada, os inversores de frequência?

EP 03. É possível fazer o acionamento de um motor de indução trifásico em uma rede de alimentação monofásica?

EP 04. O que significa acionamento de um motor à velocidade variável?

EP 05. Comente sobre algumas aplicações comuns para controladores lógico programáveis.

6 Atividade Avaliativa

6.1 Introdução – O que preciso saber

Ao final deste objetivo de aprendizagem são apresentadas cinco questões, que devem ser respondidas sem consultar o material. Se você conseguir responder as questões e conferir as respostas com o gabarito abaixo, parabéns, você concluiu com êxito este tópico. Caso tenha errado alguma questão, revise o conteúdo relacionado com a mesma e refaça a questão, procurando se concentrar mais desta vez, para acertar o exercício e fixar bem o conteúdo.

AA 01. O que são controladores lógico programáveis?

AA 02. O que são inversores de frequência?

AA 03. Quais os principais elementos de um conversor lógico programável?

AA 04. Quais os principais elementos de um inversor de frequência?

AA 05. Comente sobre as vantagens de se acionar motores de indução com inversores de frequência.

AA 01. Controladores lógico programáveis são dispositivos especializados que permitem controlar e monitorar diferentes cargas.

AA 02. Inversores de frequência são conversores cc-ca que permitem alterar a frequência e a amplitude da tensão de saída, que tem sua fundamental em formato senoidal.

AA 03. Os principais elementos de um controlador lógico programável são as entradas digitais e analógicas, a unidade central de processamento, a interface com o usuário e as saídas, comumente como contatos abertos de relés.

AA 04. Os principais elementos dos inversores de frequência são o estágio de potência com os conversores ca-cc e cc-ca e o estágio de controle, tendo a interface com o usuário, unidade central de processamento, entradas e saídas, além dos elementos de comunicação, por exemplo.

AA 05. Ao usar inversores de frequência para o acionamento de motores de indução, especialmente os trifásicos, pode alterar sua velocidade, implementar partida suave, acelerando e desacelerando o motor durante a partida e parada do motor, além de alterar as curvas de torque e velocidade da máquina.