

Introdução aos Inversores de Freqüência

Neste capítulo vamos conhecer os princípios básicos de funcionamento de um dispositivo muito utilizado em automação industrial, o inversor de freqüência. Esse dispositivo, juntamente com os CLPs dominam as aplicações de automatização de máquinas e equipamentos nas indústrias, portanto é alvo de nossos estudos, iremos abordar as definições desse dispositivo, os métodos de ligação e controle, bem como a integração e uso com CLPs, e poderemos identificar as características e tipos de dimensionamento para suas diversas aplicações.

6.1. O que é um Inversor de Freqüência?

Em muitos equipamentos industriais, é necessário que se obtenha variação de velocidade nos mecanismos que controlam as ações das máquinas e dispositivos. O uso de sistemas mecânicos de variação ou transformação de movimento causa um aumento na manutenção dos sistemas, intervenções de manutenção corretiva e preventiva nesses dispositivos na maioria das vezes demandam tempo de máquina parada e custos elevados de peças e mão-de-obra, assim a necessidade de se criar dispositivos que alterem a velocidade diretamente nos pontos motrizes dos equipamentos foi abordada de forma sistemática nas últimas décadas e empresas especializadas em tecnologia têm tido enorme evolução no desenvolvimento de tecnologias para esses fins.

Os motores elétricos em geral utilizados como dispositivos motrizes em máquinas e equipamentos são construídos para trabalharem em rotações fixas, e estas rotações são determinadas por dois fatores, um construtivo e outro elétrico. O fator construtivo refere-se a quantidade de pólos que um motor possui, pólos são os conjuntos de bobinas posicionadas internamente no motor que determinam e orientam o sentido do fluxo magnético no interior do motor, a quantidade de pares de pólos em um motor elétrico determina em qual velocidade o mesmo irá trabalhar.

O fator elétrico diz respeito à freqüência elétrica da rede aplicada no motor. O termo freqüência define em quantas vezes por segundo a corrente elétrica troca de polaridade. Se dizemos que um sinal elétrico CA tem uma freqüência de 10Hz, estamos dizendo que a corrente elétrica se alterna entre positivo e negativo em 10 ciclos por segundo, isso é o que define a denotação CA "*Corrente Alternada*", a unidade Hertz é assim definida em homenagem ao físico alemão Heinrich Rudolf Herzt, que estudou o comportamento desses sinais elétricos e contribuiu no campo da ciência com importantes descobertas sobre o magnetismo. Os valores da freqüência na rede pública seguem padrões internacionais e no Brasil a freqüência normatizada é de 60Hz, em



outros países as freqüências podem ser de 60Hz ou 50Hz, no Paraguai, por exemplo, a freqüência é normatizada em 50Hz .

Essa ligação entre a quantidade de pólos de um motor elétrico e a freqüência aplicada no mesmo define quantas rotações o motor poderá atingir. Um fator está ligado ao outro, portanto se alterarmos a quantidade de pólos de um motor ou a sua freqüência elétrica podemos obter variação de sua rotação. Para definirmos essa ligação entre a quantidade de pólos de um motor e a freqüência elétrica, utilizamos uma expressão matemática na qual visualizamos essa dependência e como um fator altera o outro.

$$N = \frac{F \times 120}{\rho}$$

De maneira que : N = Rotações por minuto [rpm]
 F = Freqüência da rede elétrica [Hz]
 P = Número de pares de pólos do motor

Analizando a expressão acima, fica claro que para alterarmos o valor de “N” (rotações por minuto) devemos variar os valores de “F” (freqüência de rede) ou “P” (número de pólos), como o valor de “P” é característica construtiva de um motor, sua alteração demanda um certo trabalho e leva tempo e em alguns casos não pode ser alterado, já a freqüência, pode ser manipulada por um dispositivo externo, como, por exemplo, o inversor de freqüência.

Comercialmente encontramos motores elétricos com 2, 4, 6, 8 e até 10 pólos, que se instalados em máquinas ou equipamentos no Brasil onde a freqüência elétrica é de 60Hz, podemos calcular facilmente a rotação síncrona desses motores por meio da expressão anterior, portanto para esses motores a velocidade síncrona é:

Motor de 2 pólos :*

$$N = \frac{F \times 120}{\rho} \quad \therefore \quad N = \frac{60 \times 120}{2} \quad \therefore \quad N = 3600 \text{ rpm}$$

Motor de 4 pólos :*

$$N = \frac{F \times 120}{\rho} \quad \therefore \quad N = \frac{60 \times 120}{4} \quad \therefore \quad N = 1800 \text{ rpm}$$

Motor de 6 pólos :*



$$N = \frac{F \times 120}{\rho} \quad \therefore \quad N = \frac{60 \times 120}{6} \quad \therefore \quad N = 1200 \text{ rpm}$$

Motor de 8 pólos* :

$$N = \frac{F \times 120}{\rho} \quad \therefore \quad N = \frac{60 \times 120}{8} \quad \therefore \quad N = 900 \text{ rpm}$$

Motor de 10 pólos* :

$$N = \frac{F \times 120}{\rho} \quad \therefore \quad N = \frac{60 \times 120}{10} \quad \therefore \quad N = 720 \text{ rpm}$$

** É importante salientar que esses valores são considerados ideais, ou seja, na prática a velocidade síncrona não é considerada, mas sim a velocidade assíncrona, em que os valores deverão ser corrigidos pelo fator de escorregamento, mais adiante no capítulo referente a motores de indução voltaremos a abordar essas definições.*

Então como alterar a velocidade de um motor AC? Na prática, não temos condições de alterar o número de pólos de um motor de forma rápida, é necessário rebobinar o motor novamente, e isso leva tempo e custa dinheiro, então alterando o valor da frequência aplicada no motor podemos controlar o número de rotações de forma fácil e rápida, características que são imprescindíveis e necessárias aos processos industriais.

Os inversores de frequência ou conversores de frequência como também são chamados, são dispositivos eletrônicos de chaveamento de potência cuja função é controlar a velocidade de motores elétricos tipo gaiola, ou seja, motores elétricos de corrente alternada, trifásicos sem escovas. O princípio de funcionamento baseia-se no chaveamento de chaves estáticas (transistores ou IGBTs) por modulação PWM - modulação por largura de pulso, dessa forma o sistema eletrônico constrói a partir de uma tensão contínua (CC) uma corrente alternada trifásica, defasadas entre si em 120°, emulando perfeitamente a corrente elétrica alternada convencional que recebemos pela concessionária de energia elétrica em nossa casa ou indústria.

As vantagens de se utilizar esses dispositivos é que, além de gerar esse sinal elétrico, temos domínio sobre ele, ou seja, podemos controlar o nível de tensão e a frequência desse sinal. Os inversores de frequência permitem ainda a partida suave do motor por meio do controle da aceleração, assim obtemos partidas de motores de pequeno e grande porte sem esforços mecânicos e elétricos no sistema.

Uma outra grande vantagem na utilização desses dispositivos é que em motores de um modo geral a corrente de partida sofre um acréscimo cerca de sete vezes a corrente nominal do motor, e com a utilização dos inversores os motores partem com correntes reduzidas, inferiores a corrente nominal do



motor, e em cargas pesadas com conjugado de partida alto, a corrente é reduzida cerca de 1 a 2 vezes a corrente nominal do motor. Além do benefício da rede elétrica da instalação, não existe queda de tensão, os cabos de alimentação não são sobrecarregados na partida dos motores.

Outro grande benefício é que o fator de potência vista pela rede elétrica que alimenta o inversor é praticamente 1 (unitário), uma carga ideal, assim é dispensado uso de banco de capacitores para compensar o reativo do motor instalado.

Na figura 6.1 podemos visualizar um diagrama de blocos básicos do funcionamento de um inversor de frequência:

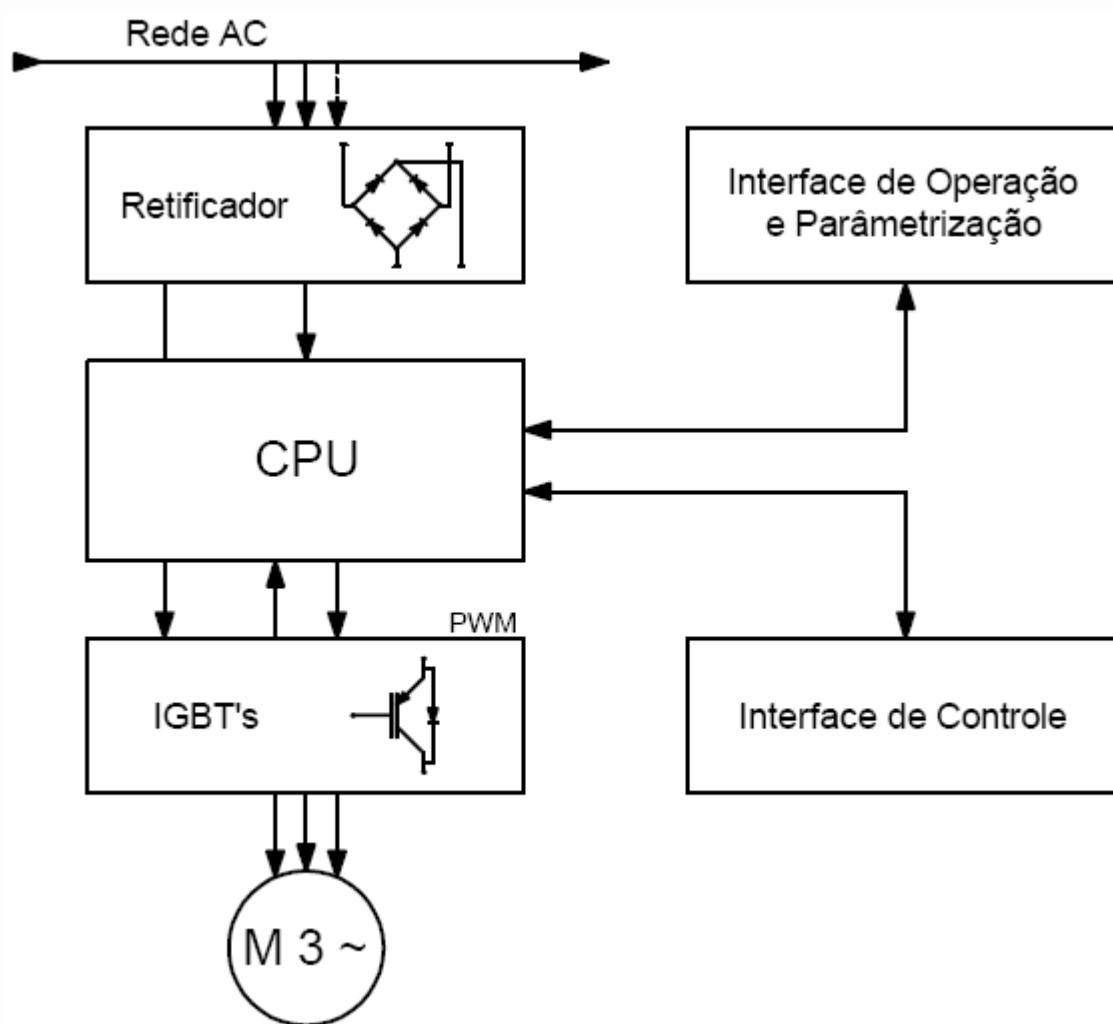


Figura 6.1

No diagrama de blocos, podemos identificar 5 dos blocos principais de um inversor de frequência. Existem outros, porém estes são os mais significativos e representam a base de todos os inversores de frequência produzidos atualmente.



Retificador: este bloco é responsável pela alteração dos sinais de alimentação do inversor para sinais CC (corrente contínua). Os inversores são alimentados em corrente alternada e podem receber dependendo do equipamento sinais CA em duas ou três fases, padrões industriais. Basicamente são construídos a partir de uma ponte retificadora, comuns em dispositivos eletrônicos, as particularidades são que esses dispositivos são dotados de filtros, os quais são necessários para um melhor funcionamento em ambientes industriais, sendo comum encontrarmos a rede elétrica com ruídos elétricos e flutuações de tensão.

Os motores elétricos industriais do tipo gaiola, assíncronos, têm a facilidade de poder alterar o sentido de rotação apenas com a inversão de dois fios de alimentação do motor. Com o inversor de frequência essa operação não é possível na entrada do retificador, caso o operador necessite realizar essa operação, deverá programar o sentido de rotação na parametrização do inversor ou diretamente na caixa de ligações do motor. Na alimentação isso não é possível, pois, após o sinal elétrico ser retificado, o inversor reconstrói os sinais a serem aplicados na saída com uma sequência de fase fixa, independentemente da sequência de fase da alimentação.

CPU: este é o módulo principal de um inversor de frequência, ele é responsável por todo o funcionamento do dispositivo, é a CPU que coordena o chaveamento do módulo de potência, enviando sinais de controle PWM para os IGBTs (ou transistores), além de gerenciar os módulos de retificação, interface de operação e interface de controle.

Atualmente os fabricantes de inversores de frequência disponibilizam para seus equipamentos módulos de comunicação em rede, de maneira que o usuário pode interagir remotamente com a CPU do dispositivo, assim o inversor ganha a funcionalidade de interação com redes de comunicações industriais, essas novas funcionalidades permitem ao usuário controlar e monitorar o dispositivo a distância, por meio da tela de um computador ou pela Internet, por exemplo. Além de facilitar a parametrização do dispositivo, que pode ser feito por meio de um computador simples, assim o operador ganha tempo e pode armazenar as configurações do dispositivo no computador e utilizá-la em quantos inversores desejar.

Interface de Operação e Parametrização: este módulo é responsável por enviar e receber as informações de como o inversor deverá funcionar, ele é dotado de botões de forma que o operador pode inserir ou digitar os valores de parametrização do equipamento, como frequência máxima, frequência mínima, valores de rampa de aceleração e desaceleração, limites de corrente de carga etc. Além de permitir o controle do equipamento, ligar desligar, acelerar, inverter a rotação etc.

Essa interface, na grande maioria dos casos, possui um display alfanumérico que indica de forma visual os valores de frequência aplicada ao motor, e outras informações programáveis ao inversor, como valores de corrente, potência, falhas etc.



Interface de Controle: esta interface é responsável pelo controle do dispositivo de forma remota, ou seja, é dotada de entradas e saídas digitais e analógicas, de maneira que o operador pode acionar e controlar o dispositivo sem que esteja presente no local de instalação do dispositivo. Esta interface de controle é muito utilizada, pois, na maioria dos casos, o equipamento fica alojado em um painel fechado e o operador não tem acesso à interface de operação do equipamento, também é muito utilizada quando se deseja que um CLP ou outro dispositivo tenha o controle do inversor.

Por meio de suas interfaces analógicas, o operador pode, por intermédio de uma IHM ou software supervisor, identificar remotamente os valores de frequência, rotação, corrente etc. As interfaces digitais funcionam basicamente como entradas de um CLP, podem ser conectadas a chaves ou botões e recebem comandos digitais ("0" ou "1") que definem o funcionamento do dispositivo. No tópico 6.7 voltaremos a definir essa interface.

IGBTs: este módulo também é conhecido como circuito de potência, é um circuito de chaveamento de potência e pode ser construído a partir de módulos IGBTs ou transistores, dependendo do projeto do inversor. Ele é o responsável pela transformação dos sinais elétricos CC provenientes do bloco retificador em sinais CA, que servirão de fonte de tensão e corrente para os motores ligados na saída do dispositivo. Possuem circuitos de medição de tensão e corrente que informam à CPU o estado da carga ligada ao inversor, desse modo a CPU pode identificar se o motor está operando normalmente ou se está sobrecarregado, interagindo no caso de uma falha, funcionando como um disjuntor eletrônico, além de calcular os valores de potências ativa, reativa e aparente da carga, disponibilizando esses dados para visualização e transmissão pela interface de operação e controle.

Esse circuito age de forma sincronizada, transformando por meio de seis (6) chaves (IGBTs ou transistores) os sinais CC do retificador em sinais CA para a saída, acompanhe abaixo as configurações desse circuito.

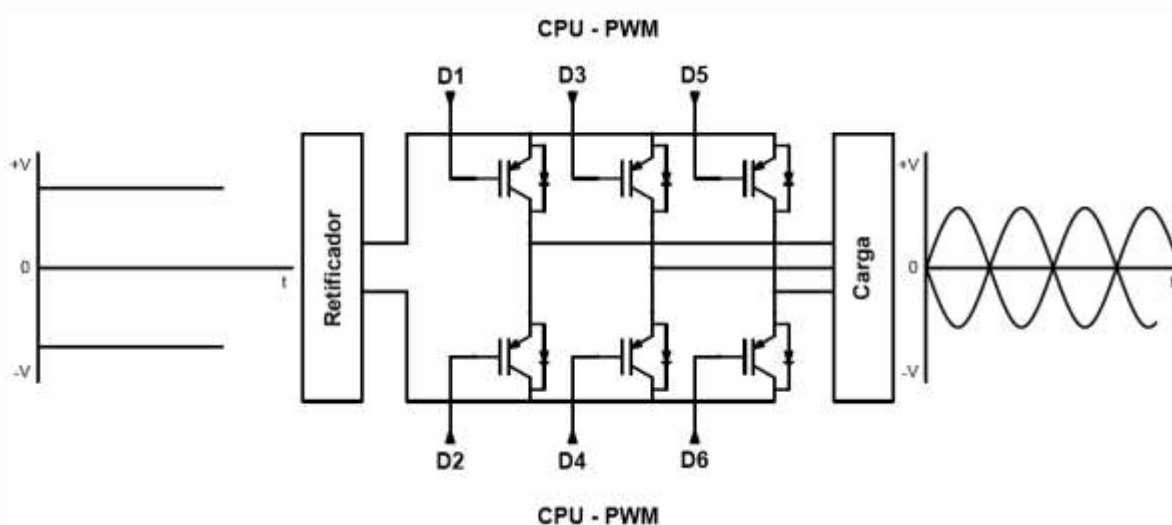


Figura 6.2



No circuito da figura 6.2, podemos visualizar o circuito básico de chaveamento de potência, comum na maioria dos inversores. Notem que são dispostos seis dispositivos de estado sólido para chaveamento (no exemplo IGBTs), e, de acordo com a sequência de disparo que a CPU disponibiliza, a forma de onda é montada na saída do circuito, agora vejamos como fica esse circuito representado na forma genérica e com o diagrama de tempos de disparo, acompanhe na figura 6.3.

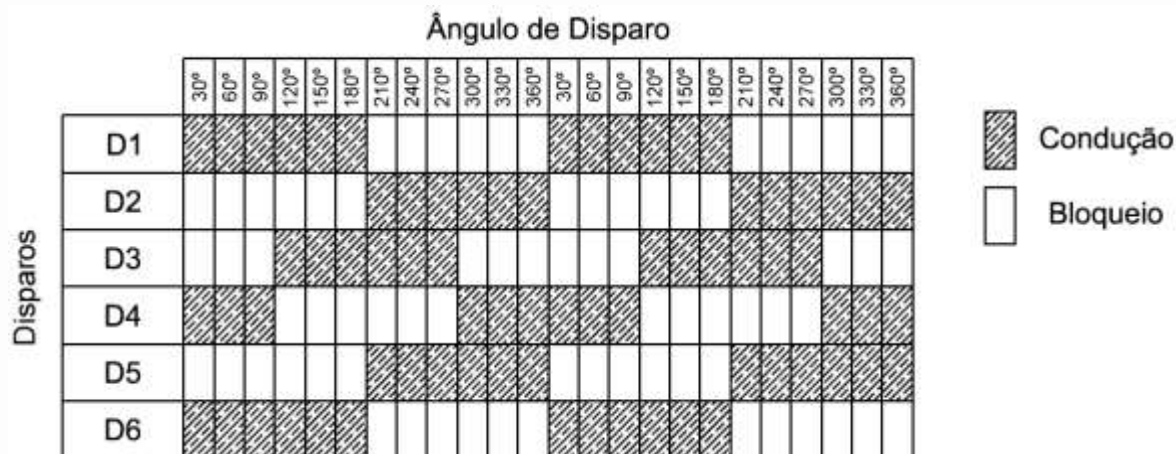


Figura 6.3

Veja que as seqüências de disparo de D1 e D2 seguem uma cadência lógica e, quando um está conduzindo, o outro está em bloqueio, a seqüência se repete para os disparos de D3 / D4 e D5 / D6 defasados por um ângulo de 120°. No diagrama de tempos da figura 6.3, estamos representando de forma genérica e digital o chaveamento dos componentes de estado sólido, porém, no estado real da máquina, a onda gerada na forma senoidal possui particularidades resultantes do chaveamento no modo PWM, veja as diferenças de uma onda senoidal pura e uma resultante do chaveamento eletrônico.

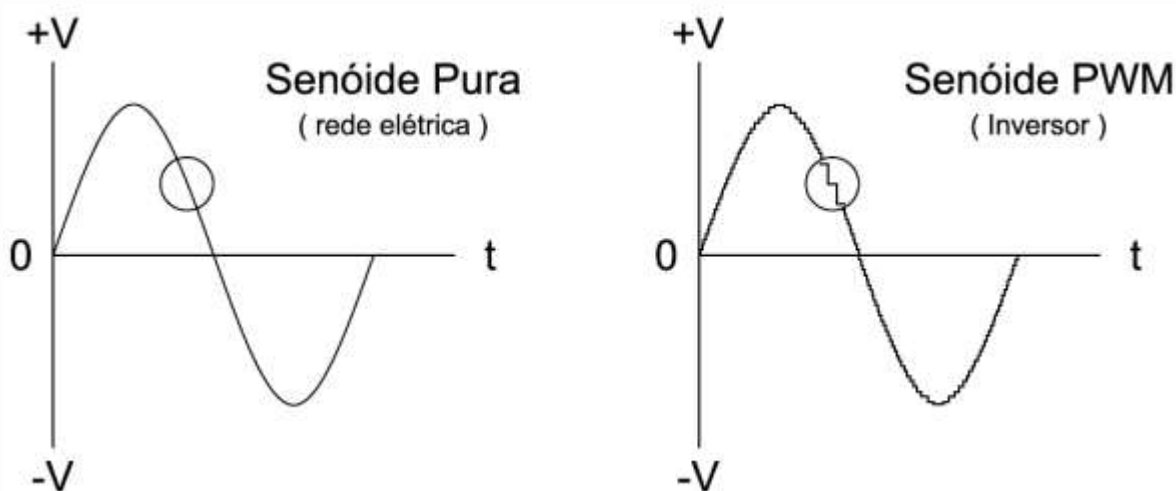


Figura 6.4



Quanto mais pura a senóide na saída do inversor, melhor e mais elaborado o circuito eletrônico empregado inversor de frequência. Isso indica que, além do circuito de chaveamento, existem filtros na saída do equipamento. Isso é um fato importante, pois esses “ruídos” gerados pelo chaveamento podem causar interferências em outros dispositivos eletrônicos que porventura estiverem na mesma instalação. Alguns fabricantes, para evitar custos, não disponibilizam esses filtros em seus equipamentos, fique atento caso a instalação seja susceptível a essas particularidades.

6.2. Tipos de Inversor de Frequência

Basicamente os inversores de frequência estão classificados em dois modelos: “escalar” e “vetorial”. O primeiro modelo, o inversor do tipo escalar, foi o primeiro modelo elaborado pela indústria. Os primeiros inversores produzidos trabalhavam neste modo, o segundo modelo, o inversor tipo vetorial, nasceu de uma necessidade de melhorar a performance do dispositivo, já que no modelo escalar a curva de torque aplicada ao motor e, conseqüentemente a carga, são limitadas.

As diferenças entre o inversor escalar e o inversor vetorial estão basicamente na curva de torque. No inversor com controle escalar, o modo de controle é definido em função de duas variáveis: V / F , tensão sobre frequência, assim esse tipo de motor não oferece torques elevados para baixas rotações, pois o torque oferecido à carga pelo inversor é função direta da corrente de carga, além disso a relação de V/F é mantida constante até o limite da tensão nominal do inversor (240V) após este ponto, chamado ponto de inflexão, essa relação deixa de ser constante, interferindo diretamente no torque aplicado à carga. Veja no gráfico abaixo a curva típica de um inversor escalar com relação V/F .

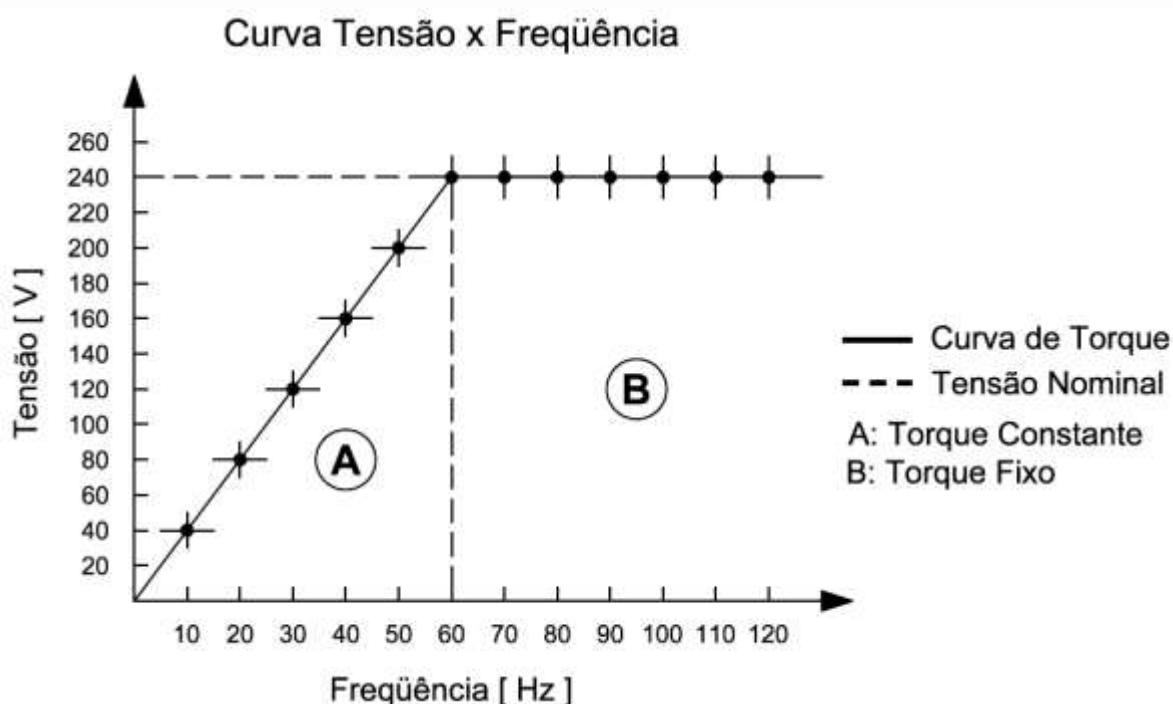


Figura 6.5

O modelo escalar é indicado para controle de cargas que operem na região ou acima da velocidade nominal do motor, e em motores com partida suave ou aplicações com constantes reversões. Em alguns inversores, a curva V/F, apresentada na figura 6.5, pode ser alterada de acordo com a carga conectada ao inversor.

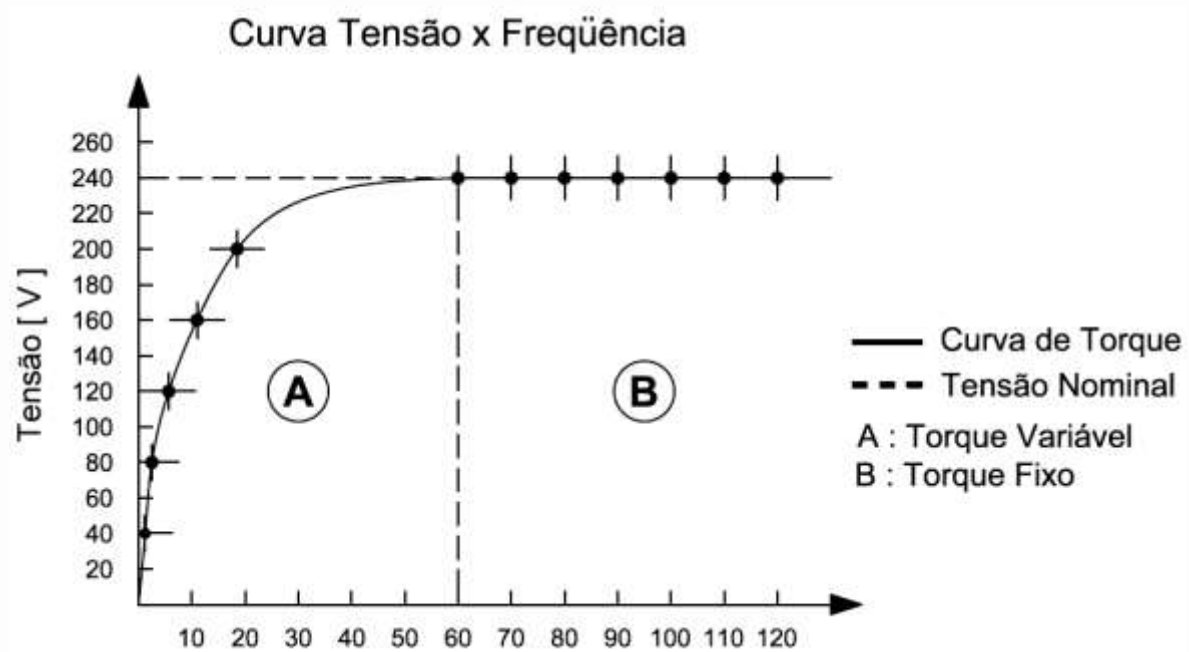


Figura 6.6

Já o inversor de frequência, operando em modo vetorial, não possui curva linear V/F, a curva mencionada é modelada a partir das características de torque da carga, ou seja, a relação varia de acordo com a solicitação de torque do motor. Esses inversores são capazes de fazer a compensação com base em leituras das correntes de magnetização do motor (IM), o inversor varia automaticamente a tensão e a frequência do motor funcionando como um controlador em malha fechada, tendo como variável de processo a corrente do motor, proporcionando assim um excelente controle de rotação e torque em baixas rotações.

Veja no gráfico da figura 6.6 a curva típica de um inversor vetorial com relação V/F.

O modelo vetorial é indicado onde são necessários altos torques em baixas rotações, adequado para motores que trabalham abaixo de sua rotação nominal. Em alguns modelos de inversores, a curva apresentada na figura 6.6 é adaptativa, em outros modelos o usuário pode escolher para qual tipo de carga será instalado o inversor, bombas, ventiladores, esteiras etc.



6.3. Parâmetros Básicos

Como definimos anteriormente, o inversor de frequência é um dispositivo eletrônico microprocessado, dotado de uma interface de operação e parametrização, o qual é responsável pela inserção dos dados e parâmetros de operação do dispositivo. De modo geral os fabricantes disponibilizam uma dezena de parâmetros pelos quais o usuário pode configurar o funcionamento do dispositivo, com base nas necessidades da instalação e requisitos do equipamento onde o inversor será instalado.

Dentre esses parâmetros, podemos destacar alguns que são genéricos e básicos para todos os inversores, de modo que o usuário, quando for fazer a instalação do equipamento, terá que obrigatoriamente consultar para proceder o startup do dispositivo, são eles:

- Potência do motor
- Corrente nominal do motor
- Tensão nominal do motor
- Corrente máxima do motor
- Frequência mínima
- Frequência máxima
- Rampa de aceleração
- Rampa de desaceleração
- Torque do motor
- Modo de operação
- Referência de frequência

Os demais parâmetros são específicos para cada inversor, ou seja, o fabricante disponibiliza uma série de outras funções que variam de acordo com o modelo e porte do equipamento, que têm a função de otimizar o funcionamento do dispositivo e configurar as funções e facilidades possíveis para o equipamento.

De modo geral os fabricantes disponibilizam o acesso a esses parâmetros via interface de operação e parametrização e são descritos por meio de códigos, como, por exemplo P00, P001, P0..n, ou N01, N02, N0..n. Esses códigos não seguem uma norma específica, cada fabricante adota o seu próprio padrão ou metodologia.

O usuário, quando efetuar a parametrização do dispositivo, deverá identificar esses parâmetros e como alterá-los no manual de instalação e programação, que é fornecido juntamente com o inversor de frequência. Essa tarefa não é tão complicada como parece, após uma breve leitura do manual o usuário pode facilmente parametrizar o inversor, e após fazer a parametrização de um modelo, poderá facilmente parametrizar outros modelos de fabricantes diferentes, pois a lógica e as metodologias utilizadas são parecidas.

É recomendado a usuários com pouca experiência que procedam uma primeira parametrização em bancada, ou seja, se possível com um motor de



potência compatível desacoplado da máquina ou equipamento. Assim o usuário poderá fazer todos os testes funcionais e identificar as interfaces de controle e operação sem correr riscos de acidentes, evitando danos físicos a pessoas ou danos materiais a máquinas e instalações.

Abaixo descrevemos uma referência rápida dos parâmetros básicos mais utilizados no setup de inversores de frequência.

Potência do Motor

Esse parâmetro diz respeito às características elétricas do motor utilizado, tem seu valor inserido em KW, ou seja, a potência do motor deverá ser convertida de CV ou HP diretamente para W, seguindo a relação de $1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$ ou $1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$, assim um motor de 3CV possui $3 \times 736 = 2208 \text{ W}$, ou seja, 2,2 KW, esse valor é necessário, pois, por meio dele, o inversor pode calcular os valores de corrente máxima, corrente nominal, e se o motor está dentro de sua característica de funcionamento, além de fornecer ao usuário o fator de utilização do motor.

Corrente Nominal do Motor

O valor de corrente nominal do motor deve ser inserido antes de se fazer qualquer teste no motor; ele determina qual a corrente esperada que o inversor deverá fornecer ao motor. Em inversores que utilizam o modo vetorial com ajuste automático, esse parâmetro é de extrema importância.

6 O valor de corrente nominal do motor deverá ser retirado da placa de identificação do motor, e ser inserido diretamente em amperes na interface de programação. Em alguns casos o inversor utiliza o valor programado no parâmetro de “potência do motor” para calcular o valor da corrente nominal automaticamente, neste caso o valor do parâmetro passa a ser de “corrente máxima” admissível. Nesta situação o valor inserido passa a ser em forma de porcentagem, ou seja, um valor que geralmente vai de 0% a 150% de sobrecarga; assim, se a carga tiver picos de corrente dentro dessa faixa em um certo intervalo de tempo, o inversor suprime a sinalização de falha.

Um valor errôneo programado abaixo da realidade nesse parâmetro pode causar um desligamento falso do inversor, acusando uma falha de subcorrente, ou no caso de programação de um valor acima do real, o inversor pode não se desligar na situação de uma falha de sobrecorrente.

Tensão Nominal do Motor

Esse parâmetro, como o próprio nome sugere, diz respeito a qual tensão nominal o motor será submetido. Geralmente este parâmetro vem pré-programado com o mesmo valor da tensão de alimentação do inversor, 240Vca / 380Vca etc.



Corrente Máxima do Motor

Esse parâmetro, em alguns conversores, é equivalente ao disjuntor eletrônico, a corrente máxima do motor é o valor da corrente em que o inversor entenderá que o motor está operando com sobrecarga. Quanto maior a diferença entre a corrente nominal do motor e a corrente máxima do motor, mais rápida será a atuação da proteção virtual de sobrecarga.

Esse valor é inserido diretamente em amperes ou em alguns casos em percentagem, os valores em percentagens são baseados nos valores de potência do motor ou corrente nominal do motor.

Frequência Mínima

Esse valor se refere ao menor valor de frequência que o motor deverá atuar, geralmente os inversores saem de fábrica com o valor programado em “0”, ou seja, o motor poderá girar a partir de “0 Hz” até o valor programado no parâmetro de “frequência máxima”.

Esse parâmetro é bastante útil quando se deseja limitar as rotações de um equipamento em um valor mínimo, garantindo uma produtividade mínima para a máquina ou linha de produção, por exemplo. Esse valor é inserido diretamente em Hz, limitado ao valor programado em “frequência máxima”.

Frequência Máxima

Esse valor se refere ao maior valor de frequência que o motor deverá atuar, geralmente os inversores saem de fábrica com o valor programado na frequência nominal da rede “60Hz”, ou seja, o inversor estará habilitado a operar do valor programado no parâmetro de “frequência mínima” até “60 Hz”.

Esse parâmetro é bastante útil quando se deseja limitar as rotações máximas de um equipamento, garantindo um valor de produtividade máxima para a máquina ou linha de produção, evitando desgaste mecânicos devido à sobrecarga mecânica do equipamento. Esse valor é inserido diretamente em Hz, limitado ao valor máximo disponível no inversor de frequência.

Rampa de Aceleração

Esse parâmetro refere-se ao tempo em segundos em que o inversor, após habilitado (ligado), acelera linearmente da velocidade “0” até a velocidade nominal programada no parâmetro “frequência máxima”, isso possibilita a partida de motores de modo suave sem solavancos ou esforços mecânicos que podem prejudicar a vida útil de máquinas e equipamentos.

Entretanto o usuário deve observar que o uso da rampa de aceleração com tempo demasiadamente curto pode provocar, em determinadas aplicações, interrupção no funcionamento do inversor por falha de sobrecorrente, geralmente em cargas de média ou grande potência.



Acompanhe no gráfico da figura 6.7 o comportamento da curva característica de uma rampa de aceleração linear.

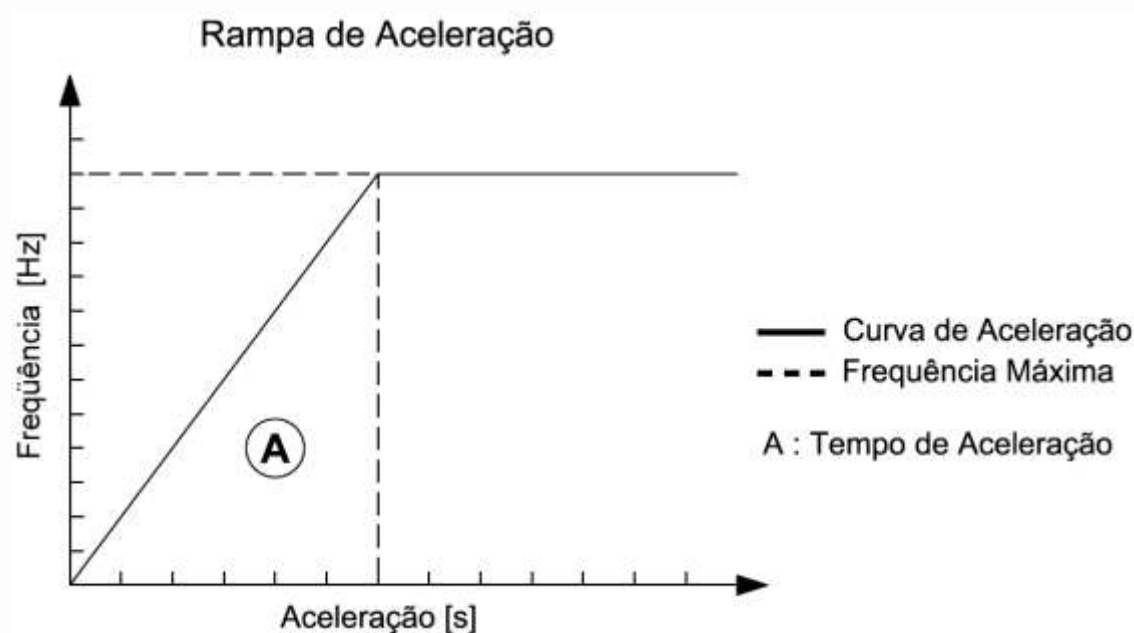


Figura 6.7

Rampa de Desaceleração

Esse parâmetro refere-se ao tempo em segundos em que o inversor, após desabilitado (desligado), desacelera linearmente da velocidade nominal programada no parâmetro "frequência máxima" até a velocidade "0", isso possibilita que cargas de médio e grande porte possam ser desaceleradas de forma gradual evitando esforços mecânicos que podem prejudicar a estrutura física de máquinas ou equipamentos.

O usuário deve observar que o uso da rampa de desaceleração pode ser prejudicial em sistemas em que uma parada rápida por emergência deve ser requerida, no entanto também é possível a ocorrência de falha de sobretensão se o usuário utilizar tempos de desaceleração muito curtos. Esse valor deve ser ajustado "in loco" com o motor conectado à carga. Acompanhe no gráfico da figura 6.8 o comportamento da curva característica de uma rampa de desaceleração linear.

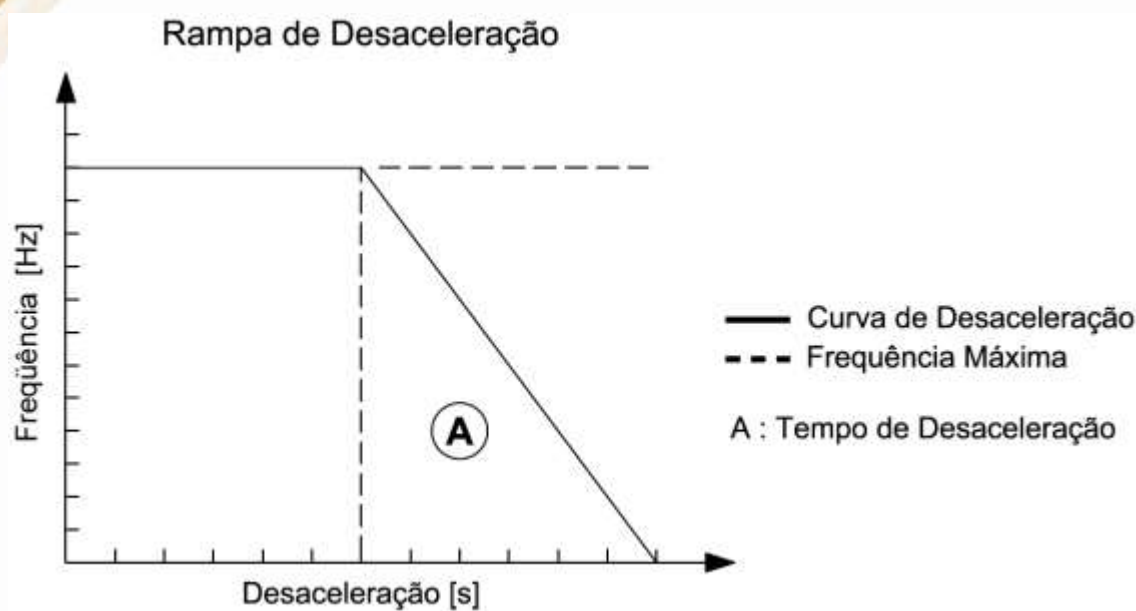


Figura 6.8

Torque do Motor

Esse parâmetro, de modo geral, define uma compensação para queda de tensão no motor atuando em baixas rotações, forçando um aumento de tensão de saída do inversor para obtenção de torque constante em operações V/F. Em outras palavras, define o ângulo de inclinação da curva da figura 6.5.

Os valores ideais para esse parâmetro são os menores possíveis, assim a curva característica permanece linear em relação ao controle V/F, o ajuste deve ser realizado “in loco” com a carga conectada ao eixo do motor, valores elevados causarão um aumento na corrente do motor em baixas rotações, podendo causar falhas no inversor relacionadas à sobrecorrente.

Modo de Operação

Nesse parâmetro são definidos o modo de controle do inversor de frequência, ou seja, é nele que determinamos como o inversor deve ser habilitado, se ele irá obedecer a comandos locais via interface de operação local ou comandos remotos, via interface de controle digital, além de determinar as funções especiais das entradas e saídas digitais (caso o inversor possua), em alguns inversores esse parâmetro é fracionado, sendo necessário a verificação de vários parâmetros para entradas digitais individuais.

O usuário deverá verificar atentamente a especificação de configuração de entradas e saídas digitais no manual do usuário que acompanha o dispositivo.

Referência de Frequência



Esse parâmetro, unicamente ou em conjunto com o parâmetro “modo de operação” determina qual a referência de velocidade a ser utilizada, seja ela selecionada na interface de operação local, por meio das teclas frontais do inversor o usuário pode incrementar ou decrementar o valor de velocidade, ou via interface de controle, remotamente por meio de um potenciômetro externo ou via sinais das entradas analógicas, nos padrões de corrente 0 a 20ma ou 4 a 20ma, ou em níveis de tensão em 0 a 10Vcc ou 0 a 5 Vcc, padrões estes disponíveis em um CLP ou controlador universal, por exemplo.

6.4. Interface de Controle

A interface de controle é um dos principais itens de um inversor de frequência, é a partir dela que é realizada a maioria dos projetos de controle de processos, utilizando o inversor como parte da instalação, por essa razão devemos compreender claramente como são os princípios de funcionamento desse dispositivo e os recursos que ela disponibiliza.

Basicamente podemos definir um modelo básico que reflete a maioria dos fabricantes, existem diferenças de fabricante para fabricante, porém as funcionalidades encontradas são muito parecidas. Para ilustrar nosso exemplo, tomamos por base um inversor modelo CFW 08, fabricado pela empresa WEG®, tradicional nesse segmento.

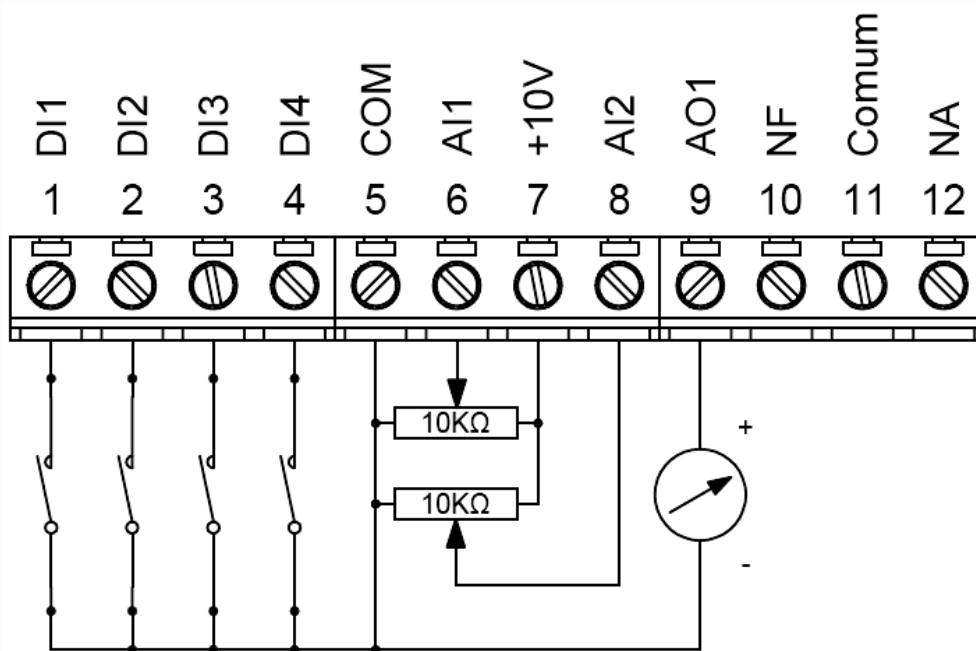


Figura 6.9

No diagrama da figura 6.9, podemos identificar com clareza as entradas digitais e analógicas da interface de controle do inversor CFW 08, bem como um esboço geral das conexões para controle, todas essas entradas são configuráveis, e, de acordo com a parametrização realizada, cada uma pode exercer uma função diferente, como, por exemplo, DI1 Liga Inversor, DI2 Desliga Inversor, DI4 Seleciona sentido de rotação etc. Para isso basta

configurar os códigos correspondentes nos parâmetros de “modo de operação”, que especificamente nesse modelo de inversor são os parâmetros **P263** (função de DI1), **P264** (função de DI2), **P265** (função de DI3) e **P266** (função de DI4), respectivamente.

Abaixo, elaboramos com base nas funcionalidades do modelo de inversor CFW 08 do fabricante WEG®, uma tabela contendo todas as configurações possíveis para essas entradas digitais, e com base nela exemplificaremos uma condição de controle.

Função	DI - Parâmetros			
	DI1 P263	DI2 P264	DI3 P265	DI4 P266
Habilita Geral	1.. 7 e 10..12	-	2	2
Gira / Pára	9	-	9	9
Sem Função ou Habilita Geral	0	-	-	-
Sem Função ou Gira / Pára	-	-	8	8
Avanço	8	-	-	-
Retorno	-	8	-	-
Avanço com 2ª Rampa	13	-	-	-
Retorno com 2ª Rampa	-	13	-	-
Liga	14	-	-	-
Desliga	-	14	-	-
Multispeed	-	7	7	7
Multispeed com 2ª rampa	-	-	14	-
Acelera EP	-	-	5	-
Desacelera EP	-	-	-	5
Sentido de Giro	-	0	0	0
Local Remoto	-	1	1	1
JOG	-	-	3	3
Sem Erro Externo	-	-	4	4
2ª Rampa	-	-	6	6
Reset	-	-	10	10
Desabilita Flying Start	-	-	13	13
Manual / Automático PID	-	-	15	-
Sem Função	-	2..6 e 9..12	11 e 12	11..12 e 14..15



Agora, com base na configuração disponível informada pelo fabricante no manual do usuário, podemos configurar o inversor para os requisitos do exemplo proposto na figura 6.10 abaixo.

Motor com acionamento do tipo partida direta com reversão de sentido de rotação

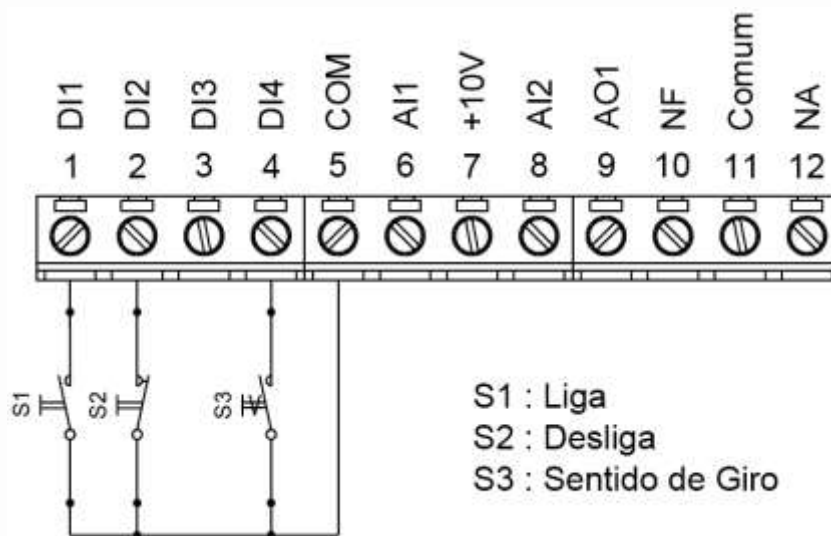


Figura 6.10

Para que o inversor de frequência funcione em substituição a uma chave de partida direta com reversão comandada por três botões, liga, desliga e sentido de giro, podemos utilizar o inversor no local sem nenhuma dificuldade, com base na ligação proposta na figura 6.10, quando foi especificado que a entrada DI1, botão de “liga motor”, a entrada DI2 o botão “desliga motor” e entrada DI4 como “chave de reversão”, definiremos os valores referentes a cada entrada digital para que o inversor obedeça à lógica proposta, assim os parâmetros P263, P264 e P266 receberão de acordo com a tabela do fabricante os valores:

Parâmetro	Entrada	Valor
P263	DI1	14
P264	DI2	14
P266	DI4	0

Acima vimos um exemplo simples de aplicação de um inversor de frequência para controle de um motor via interface de controle remoto, embora existam particularidades referentes ao tipo de inversor utilizado, a maioria dos

inversores disponíveis no mercado utilizam essa mesma filosofia de controle, bastando apenas uma breve leitura do manual do usuário, para que a parametrização seja realizada sem dificuldades.

6.5. Dimensionando um Inversor de Frequência

Para o dimensionamento correto de um inversor de frequência, deve-se levar em consideração alguns itens da instalação. Se não levados em consideração podem causar problemas na operação do dispositivo ou problemas para instalação existente, são eles:

- Tensão de alimentação da rede
- Potência do motor
- Regime de trabalho do motor, se baixas rotações ou altas rotações
- Tipo de controle a ser utilizado
- Ambiente de instalação

Tensão de Alimentação da Rede

De modo geral os inversores são encontrados para níveis de tensões padronizadas, 220Vca, 380Vca e 440Vca, sendo os mais comuns 220Vca e 380Vca, encontramos no mercado inversores monofásicos e trifásicos, alguns modelos de inversor podem ser alimentados tanto com três fases quanto duas fases, porém é necessário verificar esse detalhe no manual de instalação do dispositivo e, por motivo de segurança todos, sem exceção, devem possuir sistema de aterramento de acordo com as normas regulamentadoras, como a NR10 por exemplo, pois, por trabalharem com altas tensões nos circuitos intermediários, esse fator deve ser levado em consideração para resguardar a segurança física dos usuários e das instalações.

Os inversores devem ser alimentados de acordo com as características de identificação do aparelho. Se não forem observadas essas características o usuário poderá danificar de forma permanente o dispositivo.

Potência do Motor

Os inversores de frequência são dimensionados por meio da potência de saída em KW, ou seja, devemos converter a potência em CV ou HP do motor em Watts, essa conversão é bastante simples, bastando conhecer a seguinte relação:

1 CV corresponde a 736 W ou 0,736 KW

e



1 HP corresponde a 746 W ou 0,746 KW

Lembrando que CV é abreviatura de “Cavalo Vapor” e HP “Horse Power”.

Então, se desejamos dimensionar um inversor para um motor de 10CV, a potência necessária para o inversor será de $10 \times 736 = 7360\text{W}$ ou 7,36 KW no mínimo.

Abaixo podemos visualizar uma tabela contendo as características dos motores elétricos trifásicos convencionais para auxílio no dimensionamento dos dispositivos:

Motores Trifásicos Convencionais				
Potência		Corrente Nominal [A]	Fator de Serviço F_s	Peso Aprox. [Kg]
CV	KW			
0,16	0,12	0,77	1,15	7
0,25	0,18	1,02	1,15	7
0,33	0,25	1,34	1,15	7
0,5	0,37	1,71	1,15	8
0,75	0,55	2,39	1,15	10
1	0,75	3,01	1,15	11
1,5	1,1	4,28	1,15	14
2	1,5	5,46	1,15	16
3	2,2	8,43	1,15	20
4	3	11	1,15	23
5	3,7	12,9	1,15	32
6	4,5	15,8	1,15	38
7,5	5,5	19,1	1,15	41
10	7,5	25,5	1,15	64
12,5	9,2	31,4	1,15	67
15	11	36,9	1,15	72
20	15	50,3	1,15	104
25	18,5	61,6	1,15	111
30	22	72,1	1,15	126
40	30	99	1,15	213
50	37	120	1,15	240
60	45	143	1,0	380
75	55	174	1,0	430



100	75	233	1,0	465
-----	----	-----	-----	-----

Para obter a corrente em 380 Vca, multiplicar por 0,577
 Para obter a corrente em 440 Vca, multiplicar por 0,5

Tabela 6B

Regime de Trabalho do Motor

Esse fator é muito importante. Para dimensionamento correto de um inversor de frequência, devemos observar se o inversor irá trabalhar em regime de baixa rotação ou alta rotação. Se a aplicação necessitar de que o motor opere na faixa de frequência abaixo de 60 Hz, devemos considerar o torque. Caso a carga necessite de alto torque, o inversor ideal é do tipo vetorial. Caso a aplicação não necessite de torques elevados, o inversor do tipo escalar é o indicado. Já nos casos em que a aplicação deve funcionar com frequências elevadas, acima da nominal (60 Hz) os inversores do tipo escalar atendem à maioria das aplicações. Esses fatores são importantes, pois os inversores vetoriais, de modo geral, possuem um custo mais elevado, portanto uma avaliação correta da aplicação pode trazer uma economia considerável para o projeto.

Tipo de Controle

O tipo de controle deve ser observado quando a instalação requer interfaces especiais, como controle por meio de CLPs, que utilizam interfaces analógicas para ajustar a velocidade das máquinas, ou ainda quando o inversor deve se comunicar em redes de comunicação e enviar dados para outros sistemas. Nesses casos o usuário deverá estudar o modelo de inversor apropriado para a aplicação.

Ambiente de Instalação

Geralmente os inversores de frequência são projetados para instalação em locais abrigados e livres de poeiras ou umidade. Esse fator deve ser levado em consideração, pois, na maioria dos casos, em ambientes industriais, os locais de instalação não são favoráveis à instalação do dispositivo de forma exposta. A localização dos inversores é fator determinante para que o dispositivo funcione de forma correta e tenha uma vida útil normal de seus componentes. Assim é recomendado que o dispositivo seja instalado em ambientes livres de:

- Poeiras ou partículas metálicas suspensas no ar
- Vibração excessiva
- Gases, líquidos explosivos ou inflamáveis em suspensão no ambiente
- Exposição direta a raios solares, chuva ou maresia

Além desses fatores, devemos observar alguns símbolos utilizados para identificação de condições especiais, que devem ser observadas durante a instalação e manipulação do dispositivo, são eles:





Figura 6.11

O ambiente ideal para instalação desses equipamentos é o interior de painéis ou caixas metálicas fechadas com provisão de exaustão. Para que as temperaturas fiquem dentro das faixas permitidas, são considerados fatores ideais:

- Umidade relativa na faixa de 5% a 90% sem condensação
 - Temperatura nas faixas de 0 °C a 40 °C
 - Altitude máxima 1000m para condições normais e acima desse valor limitado a 4000m com redução de corrente cerca de 10% para cada 1000m
- Grau de poluição 2 conforme normas EN50178 e UL508C

6.6. Ligando um Inversor

A conexão elétrica de um inversor de frequência é bastante simples, bastando apenas seguir algumas recomendações técnicas para uma instalação segura e adequada. Os inversores devem obrigatoriamente ser aterrados a um circuito de proteção com resistência inferior a 10 Ω , a fiação deve ser adequada à potência da instalação e não compartilhada com outros dispositivos elétricos ou eletrônicos da instalação. A figura 6.12 exemplifica o modo correto de instalação de aterramento para um inversor ou vários equipamentos ligados à mesma instalação.



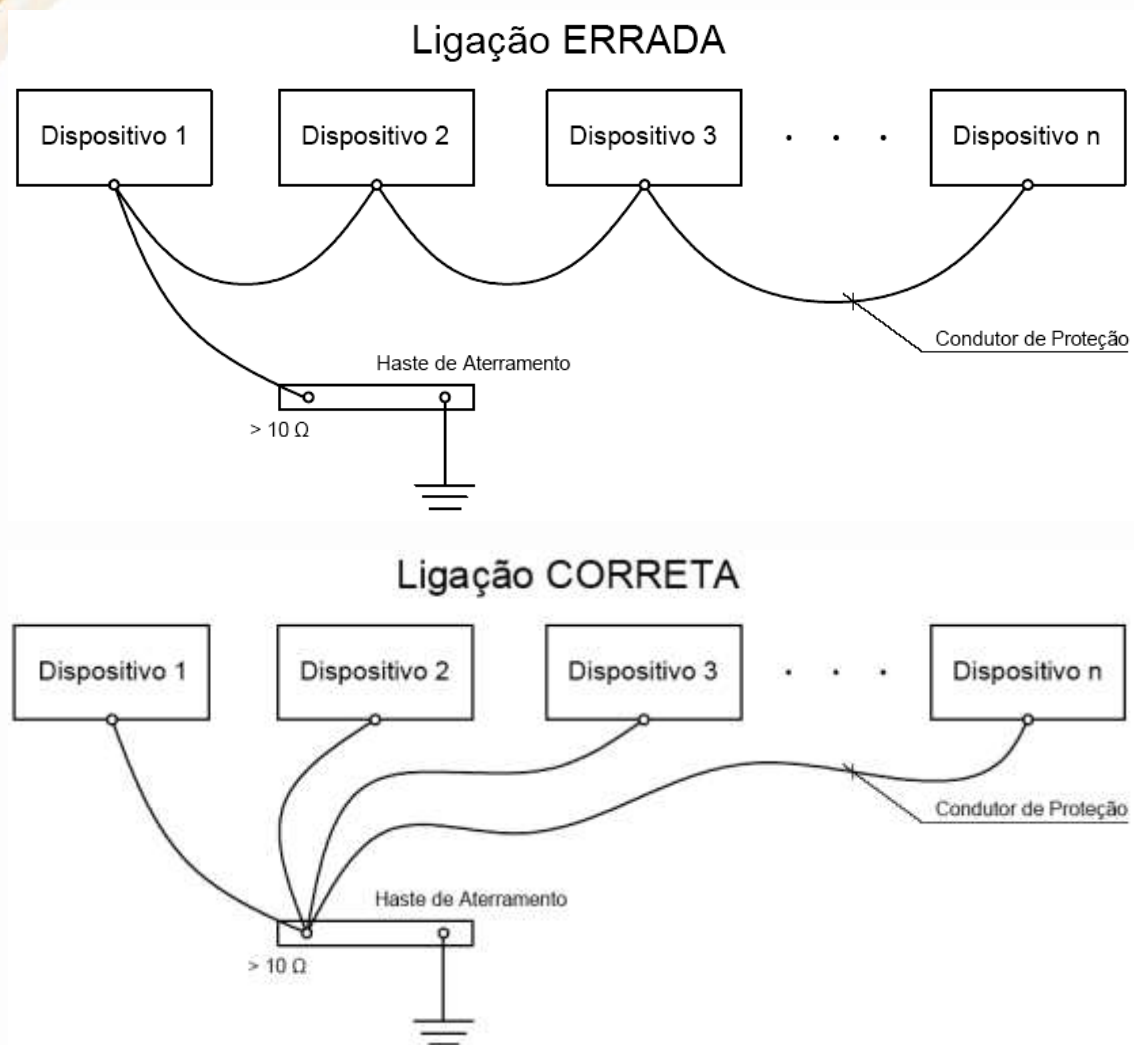


Figura 6.12

A conexão do circuito de alimentação de força deve seguir os padrões de tensão e proteção compatíveis com os níveis do dispositivo, e nunca devemos ligar ou desligar o motor interrompendo a alimentação principal do inversor, sempre devemos utilizar a interface de controle do inversor para ligar ou desligar o motor.

A tensão de rede deve ser compatível com a tensão nominal do inversor. Não é necessária a instalação de capacitores para correção de fator de potência em circuitos de motores que utilizam inversores de frequência.

Quando a instalação for susceptível a interferências eletromagnéticas geradas pelo inversor, é recomendada a utilização de fiação blindada na instalação de potência e controle do inversor. Somente uma das extremidades da blindagem deve ser conectada ao circuito de proteção terra. Isso é necessário para que não haja formação de correntes parasitas na blindagem de aterramento.

Os inversores possuem proteção eletrônica para sobrecarga do motor. Assim não é necessária a utilização de dispositivos de proteção no circuito de saída do inversor, porém, caso o usuário utilize somente um inversor para



controle de vários motores (isso é possível se o inversor suprir a necessidade de potência dos motores) é necessária a utilização de relés de sobrecarga individuais para cada motor. Não utilize dispositivos como disjuntores na saída do inversor, não devemos interromper a condutividade elétrica entre o inversor e o motor quando ele estiver funcionando, é necessário interromper o funcionamento do inversor por meio da interface de controle do inversor.

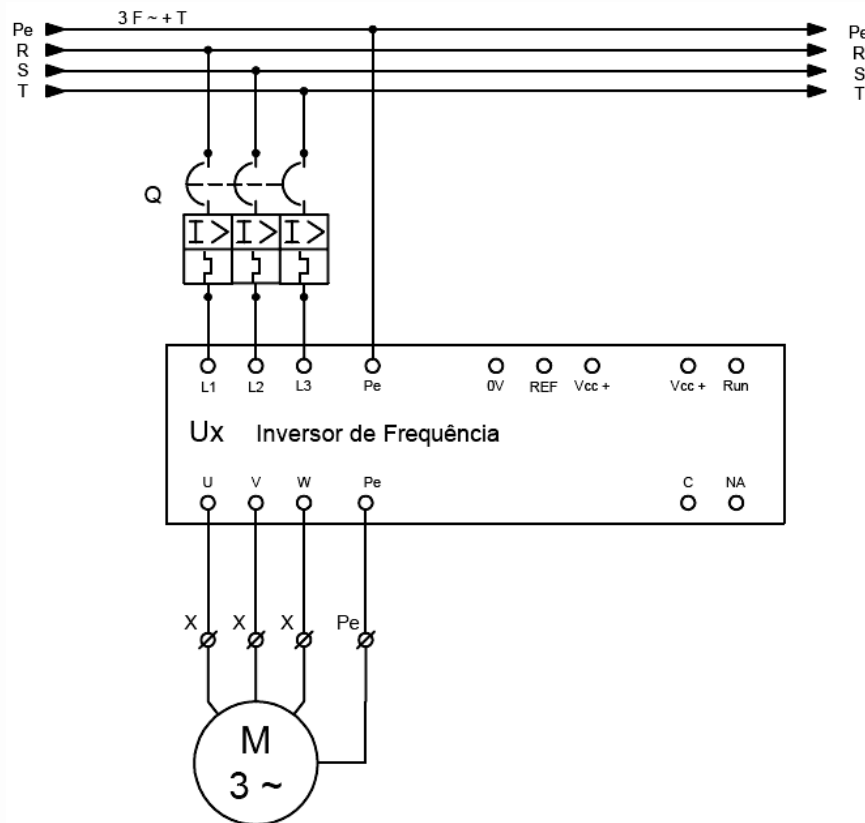


Figura 6.13

No circuito de alimentação do inversor, deve ser instalado um dispositivo de proteção de curto circuito, como um disjuntor por exemplo, dimensionado de acordo com as características de entrada do inversor, assim a instalação é resguardada na ocorrência de uma eventual falha no circuito de alimentação do inversor. A instalação típica de um inversor de frequência deve seguir o diagrama representado pelas figuras 6.13 (instalação para um motor) e 6.14 (instalação para vários motores).

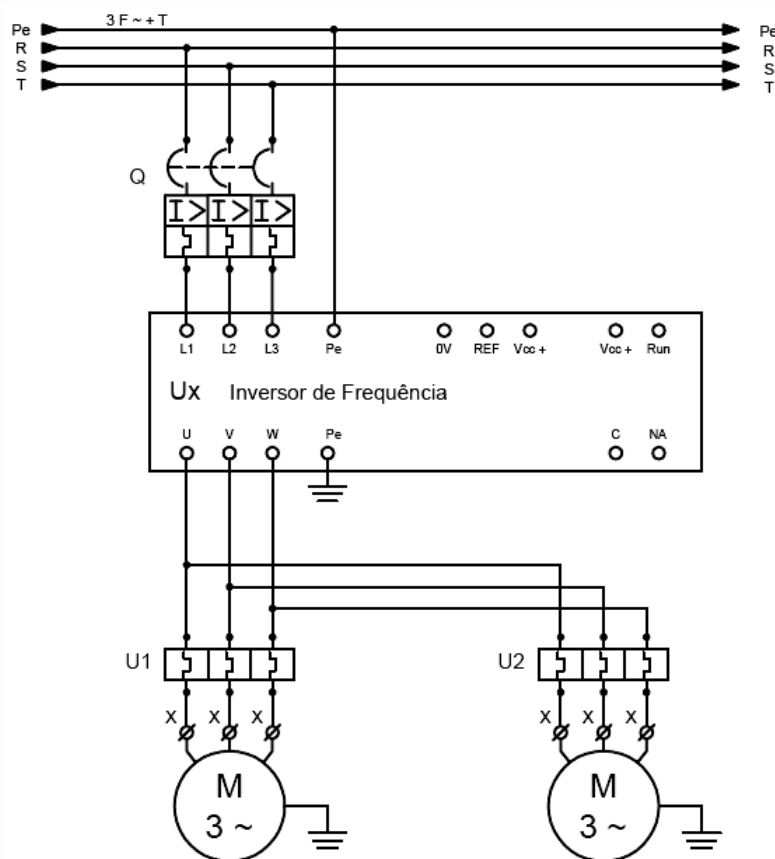


Figura 6.14

Nas figuras indicadas podemos identificar as duas situações de ligação, de maneira que o inversor é ligado no modo simples com um motor, figura 6.13, e com 2 motores figura 6.14. Note que o circuito de alimentação é protegido por meio de um disjuntor de motor “Q”, assim em qualquer falha que ocorra com o circuito de alimentação do inversor, a rede será protegida com a atuação dessa proteção. O disjuntor de motor, quando atuado, interrompe a condutividade da linha, bloqueando o fornecimento de energia para o inversor. Já no exemplo da figura 6.14 os dispositivos de proteção são do tipo “*relé de sobrecarga*”, estes dispositivos “U1” e “U2” não interrompem a condutividade do circuito, e em caso de sobrecarga de qualquer um dos motores, atuam contatos auxiliares, que, na aplicação, deverão interromper a habilitação dos motores diretamente na interface de controle do inversor.

Existem muitas maneiras de interagir com um inversor de frequência, a forma mais usual de utilização e operação de um inversor é a ligação de uma chave seletora para habilitação do funcionamento do motor e um potenciômetro para referência de frequência de saída. A operação via interface de local (interface de operação) também pode ser utilizada porém não é recomendada, pois, como geralmente os inversores devem ser instalados em painéis fechados para proteção, o usuário tem que acessar a interface que está posicionada no frontal do inversor, causando então uma abertura constante da porta do painel. Nesses casos simplesmente o inversor é instalado fora de um local abrigado por comodismo do usuário e dos instaladores, assim as fiações



ficam expostas e conseqüentemente existirão riscos a operadores, além de não existir proteção física suficiente para o dispositivo.

No diagrama da figura 6.15, podemos avaliar a ligação típica mais comum desses dispositivos.

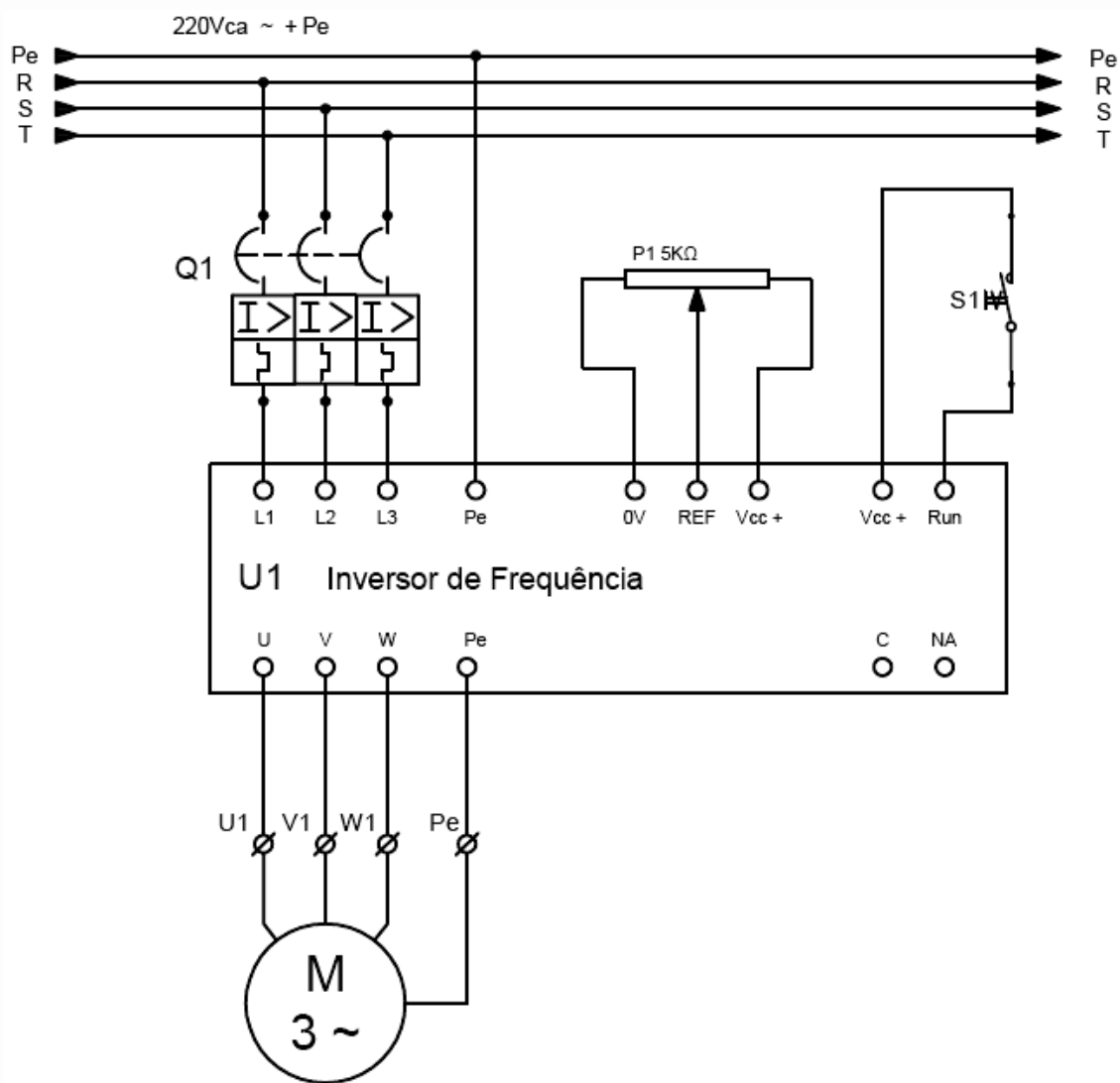


Figura 6.15

No diagrama apresentado acima, podemos identificar os dispositivos de controle do inversor, S1 responsável pela habilitação ou não do motor (RUN) e o potenciômetro P1, responsável pela referência de freqüência de saída do inversor. Nessa configuração o inversor pode facilmente ser instalado em um painel abrigado das intempéries do ambiente. Os dispositivos de controle, S1 e P1 podem ser instalados remotamente na porta do painel ou em um outro local de fácil acesso à operação.

Vale lembrar que essa configuração é considerada básica para instalação do dispositivo, o usuário deve verificar as particularidades do projeto antes de determinar o método de controle do inversor.



Nessa aplicação é recomendado que o usuário utilize fiação blindada na ligação do potenciômetro externo, e, se possível, deve evitar que a fiação de controle siga a mesma tubulação da fiação de potência do inversor e motor.

6.7. Controlando um Inversor com um CLP

Em aplicações industriais, é comum a utilização de inversores de frequência em sistemas automatizados com base em CLPs, assim é bastante comum a utilização de CLPs para gerenciamento das funções de inversores de frequência. As interfaces utilizadas para esses fins já foram abordadas anteriormente quando falamos sobre as funções dos CLPs, porém, neste momento, vamos voltar a abordar tais interfaces.

As interfaces utilizadas do CLP são: interfaces de saídas digitais para acionamento do Inversor, interface de entradas digitais para monitoração do status de funcionamento do inversor e interface de saídas analógicas para controle do valor de velocidade de trabalho do inversor.

O sinal de saída no CLP atua diretamente nas entradas digitais da interface de controle do inversor, substituindo as chaves e botões que utilizaríamos para as funções de liberação e bloqueio do inversor.

O sinal de entrada digital no CLP recebe um sinal elétrico proveniente da saída de falha do inversor, geralmente um sinal de nível lógico que em estado “0” indica que está tudo bem com o inversor e nível lógico “1” indica que o inversor está em estado de falha. Esse sinal é conectado no inversor por meio de contatos de um relé auxiliar disponível em sua interface de controle (figura 6.9 bornes 10 , 11 e 12), sendo que a função do relé pode ser programada pela interface de operação por meio dos parâmetros referentes aos bornes do relé para função de sinalização de falha no inversor.

O sinal proveniente da saída analógica do inversor é conectado à entrada analógica do inversor. Esse sinal pode ser de tensão (0 a 10 Vcc) ou de corrente (4 a 20 ma) e é utilizado para referência de frequência de saída do inversor, ou seja:

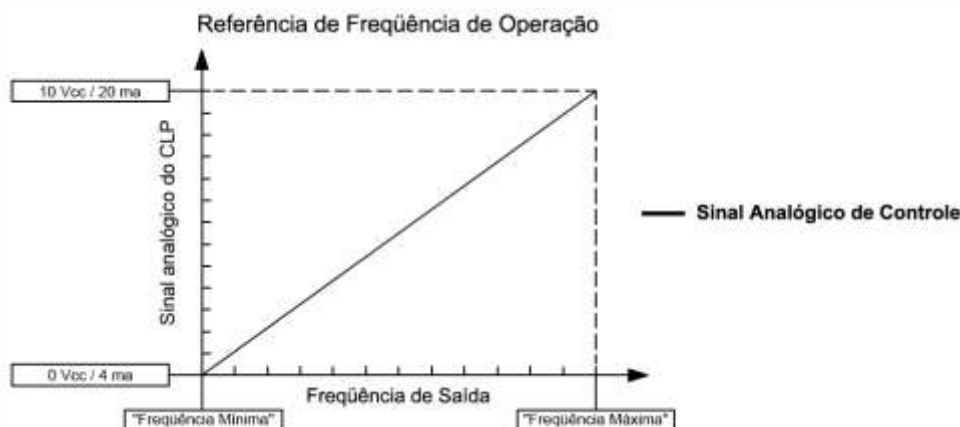


Figura 6.16

0 Vcc ou 4 ma - Motor girando com o valor do parâmetro “frequência mínima”.



10 Vcc ou 20 ma – Motor girando com o valor do parâmetro “frequência máxima”.

Abaixo visualizamos um diagrama típico de ligação utilizando um CLP para controle de um inversor de frequência. Para facilitar a compreensão, vamos utilizar o exemplo visto anteriormente na figura 6.15 porém agora com acionamento via CLP.

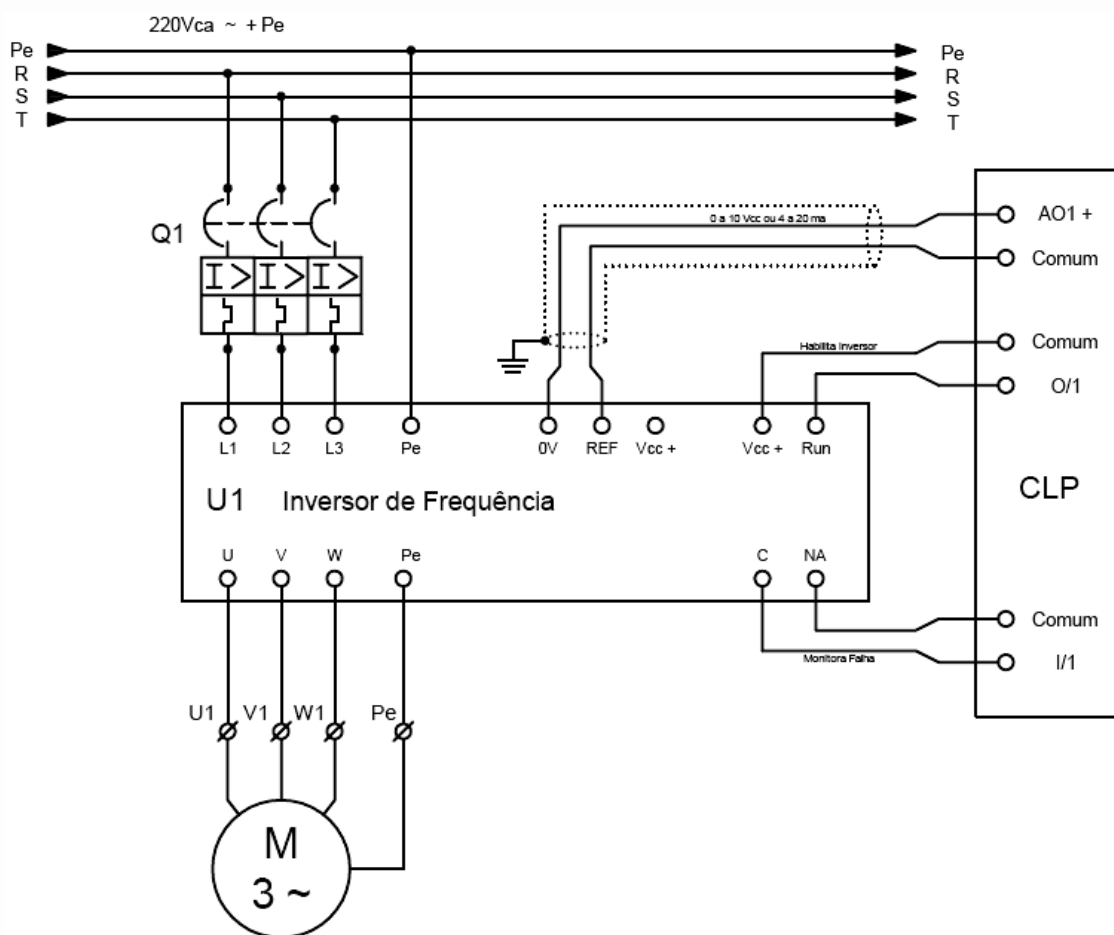


Figura 6.17

No diagrama apresentado acima, podemos visualizar que os dispositivos de controle do inversor do exemplo anterior S1 e P1 foram substituídos pelos módulos de saída digital e de saída analógico de um CLP. Nessa configuração o inversor passa a ser controlado por meio de um CLP, basta ao usuário acrescentar no programa de usuário do CLP uma variável do tipo bit que controle a saída O/I; assim, quando essa saída for verdadeira, o inversor estará habilitado e conseqüentemente o motor girando. Outra lógica deve ser elaborada para controle da saída analógica AO1, assim o usuário poderá, por exemplo, digitar na tela de uma IHM o valor correspondente ao valor da frequência em Hz que o inversor deverá liberar em sua saída.

Outra nova situação é o aproveitamento do relé configurável do inversor para sinalização de falha. Assim, se a entrada correspondente (I/I) do CLP tiver uma transição do nível “0” para o nível “1”, o CLP poderá identificar uma

condição de falha, e bloquear o inversor a partir de O/1 e simultaneamente apresentar na tela de uma IHM a mensagem “Falha no Inversor de Frequência” ou “Falha no Motor”, por exemplo.

Novamente lembramos que essa configuração é considerada básica, o usuário deve verificar as particularidades da aplicação antes de determinar o método de controle do inversor.

No exemplo demonstrado na figura 6.17, podemos visualizar fiação blindada na ligação dos sinais analógicos de referência de velocidade. Note que existe um única extremidade aterrada, isto é necessário, pois evita que circule pela fiação de blindagem uma corrente parasita que pode interferir no sinal de controle do inversor e do CLP.

