Guia de Aplicação
Inversores de Freqüência

3ª Edição

Transformando energia em soluções

GUIA DE APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

3ª EDIÇÃO

WEG AUTOMAÇÃO
www.weg.com.br

AUTORIA:

"Este 'Guia de Inversores de Freqüência' foi escrito pelos M. Engº. José M. Mascheroni (coordenação do trabalho e criação dos capítulos 2, 4, 6 e 8), M. Engº. Marcos Lichtblau e Engª. Denise Gerardi (capítulo 7 e o Anexo 1), todos integrantes da ISA Engenharia Ltda. – Florianópolis / SC.

Os capítulos 1, 3 e 5 foram escritos utilizando-se materiais fornecidos pela Weg e revisados pelo coordenador.

Coube à Weg a criação do capítulo 9, Anexos 2 e 3, como também a revisão técnica do mesmo."

ÍNDICE

3ª EDIÇÃO

1

INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas de velocidade variável ____ 13
1.2 Sistemas de variação de velocidade tradicionais ____ 16
1.2.1 Variadores mecânicos ____ 17
· Variador com polias cônicas e correia ____ 17
· Variador com polias cônicas e corrente ____ 18
· Variador com discos de fricção ____ 18
1.2.2 Variadores hidráulicos ____ 18
· Motor hidráulico ____ 18
· Variador hidrocinético ____ 19
1.2.3 Variadores eletromagnéticos - Embreagens eletromagnéticas ____ 19

2

COMO FUNCIONA UM MOTOR DE INDUÇÃO?

2.1 Princípios básicos de funcionamento ____ 23
2.2 Análise de funcionamento ____ 27
2.3 Curvas características do motor de indução ____ 29
2.3.1 Torque x Velocidade ____ 29
2.3.2 Corrente x Velocidade ____ 30
2.4 Potência e perdas ____ 30
2.5 Características de temperatura – classes de isolamento térmico ____ 31
2.6 Tempo de rotor bloqueado ____ 32

3

MÉTODOS DE COMANDO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO

3.1 Categorias de partida ____ 37
3.2 Formas de partida ____ 38
· Partida direta ____ 38
· Partida estrela-triângulo ____ 39
· Partida eletrônica (soft-starter) ____ 40
3.3 Frenagem ____ 42
3.3.1 Frenagem por contra-corrente ____ 42
3.3.2 Frenagem por injeção de CC ____ 44
3.4 Vantagens e desvantagens dos métodos de partida ____ 45
· Partida direta ____ 45
· Partida estrela-triângulo ____ 46
· Partida eletrônica (soft-starter) ____ 46

4

O INVERSOR DE FREQÜÊNCIA WEG

4.1 Métodos de controle dos inversores de freqüência ____ 54
· Controle escalar ____ 54
· Controle vetorial ____ 58
4.2 Características dos motores de indução acionados com inversores de freqüência ____ 61

5

PARÂMETROS DO INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

5.1 Parâmetros de leitura ____ 66
5.2 Parâmetros de regulação ____ 67
· Rampas de aceleração / desaceleração ____ 67
· Curva U/F ajustável ____ 69
5.3 Parâmetros de configuração ____ 70
· Frenagem ____ 70
· Injeção de corrente contínua ____ 72
· Rampa de desaceleração e frenagem reostática 72
· Rejeição de freqüências críticas ____ 73
· Partida com motor girando *(flying start)* ____ 74
· Compensação do escorregamento ____ 75
5.4 Parâmetros do motor ____ 76
5.5 Parâmetros das funções especiais ____ 76
· Ciclo automático ____ 76
· Controle de processos com inversores de freqüência ____ 77

6

COMANDO E CONTROLE DE VELOCIDADE EM MOTORES DE INDUÇÃO ACIONADOS POR INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

6.1 Sensores de posição e velocidade ____ 82
6.2 Medição de velocidade ____ 84
6.2.1 Algoritmo de estimação de freqüência ____ 85
6.2.2 Algoritmo de estimação do período ____ 85
6.2.3 Algoritmo de estimação simultânea de período e freqüência ____ 86
6.3 Ruídos ____ 86
6.4 Sincronização de velocidade ____ 87

7

APLICAÇÃO DE ACIONAMENTOS COM MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

7.1 Introdução, definições, fundamentos e princípios ____ 91
7.1.1 Definições ____ 91
7.1.2 Relações básicas ____ 92
7.2 O que a carga requer? ____ 96
7.2.1 Tipos de cargas ____ 96
7.2.2 O pico de carga ____ 98
7.2.3 Estimando cargas ____ 99
7.3 Seleção de acionamentos (motor/inversor) ____ 100
7.3.1 Operação abaixo da rotação nominal ____ 100
· Motor autoventilado ____ 100
· Motor com ventilação independente ____ 102
7.3.2 Operação acima da rotação nominal ____ 103
7.3.3 Casos especiais ____ 104
· Efeito da temperatura ambiente ____ 104
· Efeito da altitude ____ 105
7.4 Aplicações Típicas dos Inversores de Freqüência 106
7.4.1 Sistemas de bombeamento de fluidos ____ 106
. Definições ____ 106
. Classificação ____ 106
. Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo ____ 106
. Classificação das bombas volumétricas ou de deslocamento positivo ____ 107

. Turbo-Bombas 109
. Classificação das turbo-bombas 109
. Curva típica das turbo-bombas 110
. Exemplo típico de aplicação 111
. Sistema com controle de pressão e vazão 112
. Ajustes convencionais 117
. Função curva U/F quadrática 117
. Função (P.I.D.) proporcional integral e derivativo 119
7.4.2 Sistemas de ventilação 124
. Definições 124
. Classificação 124
. Caracaterísticas dos ventiladores 127
. Rotação específica dos ventiladores 127
. Curva características dos ventiladores 129
. Curva características da instalação 130
. Sistema de ventilação com controle de pressão e vazão 133
7.4.3 Ar-Condicionado (sistemas de chiller à água) 143
. Definições 143
. Ciclo de chiller tipo compressão de vapor 144
. Tipos de compressores 145
. Capacidade de compressores 145
. Compressores tipo alternativo 146
. Compressores tipo rotativo 147
. Variação de velocidade 148
. Aplicações de AVAC com inversor de freqüência 150
. Tipos de condensador 151
. Chiller resfriado à ar 152
. Chiller resfriado à água 152
. Chillers de absorção à água 153
7.4.4 Papel e celulose 154
. Introdução 154
. Definições 154
. Aplicação de inversor de freqüência 157
. Parametrização 148
7.4.5 Movimentação de cargas 159
. Pontes rolantes 159
. Multispeed 166
. Rampa S 166
. Rede Fieldbus 167

8

INSTALAÇÃO DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

8.1 Rede de alimentação elétrica 172
8.2 Fusíveis 172
8.3 Condicionamento da rede de alimentação 172
8.4 Interferência eletromagnética (EMI) 173
8.5 Cabos 176
8.6 Aterramento 178
8.7 Dispositivos de saída 179
8.8 Instalação em painéis – princípios básicos 180

9

LINHA DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA WEG

9.1 Introdução 185
9.2 Inversor de freqüência **CFW-10** 187
. Principais aplicações / Benefícios 187
. Blocodiagrama 188
· Tabela de especificações 188
· Codificação 189
· Características técnicas 190
9.3 Inversor de freqüência **CFW-08** 191
· Principais aplicações / Benefícios 191
. Blocodiagrama 192
· Tabela de especificações 193
· Modelos e acessórios opcionais 194
· Interface homem-máquina remota 195
· Superdrive 195
· Codificação 196
· Características técnicas 197
· Recursos / Funções especiais 198
9.4 Inversor de freqüência **CFW-09** 199
· Vectrue Technology ® 199
· Optimal Braking ® 200
· Vantagens adicionais 201
· Aplicações 202
. Um produto completo, flexível e compacto 203
. Tipos de montagem 204
. Blocodiagrama 205
· Interface homem-máquina 206
· Funções do teclado 207
· Superdrive 207
· Redes de comunicação *"FieldBus"* 208
· Configurações com barramentos CC (link DC) 209
· Acessórios e periféricos 211
· Características técnicas 214
· Tabela de especificações 217
. Mecânicas do CFW-09 219
· Codificação 220
· Dimensões e peso 221
. Inversor de freqüência CFW09 Shark 221
. Funções Especiais 222
9.5 Inversor de freqüência **MVW-01** 224
. Modelos 225
. Características Principais 226
. Blocodiagrama 227

ANEXO 1

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

1 Momento de inércia de formas simples 231
2 Teorema dos eixos paralelos 233
3 Momento de inércia de formas compostas 234
4 Momento de inércia de corpos que se movem linearmente 235
5 Transmissão mecânica 235
6 Exemplos de cálculos de momento de inércia de massa 236
· Cálculo do momento de inércia de massa 236
· Cálculo do momento de inércia total 237

ANEXO 2

CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA E REDUÇÃO DA DISTORÇÃO HARMÔNICA

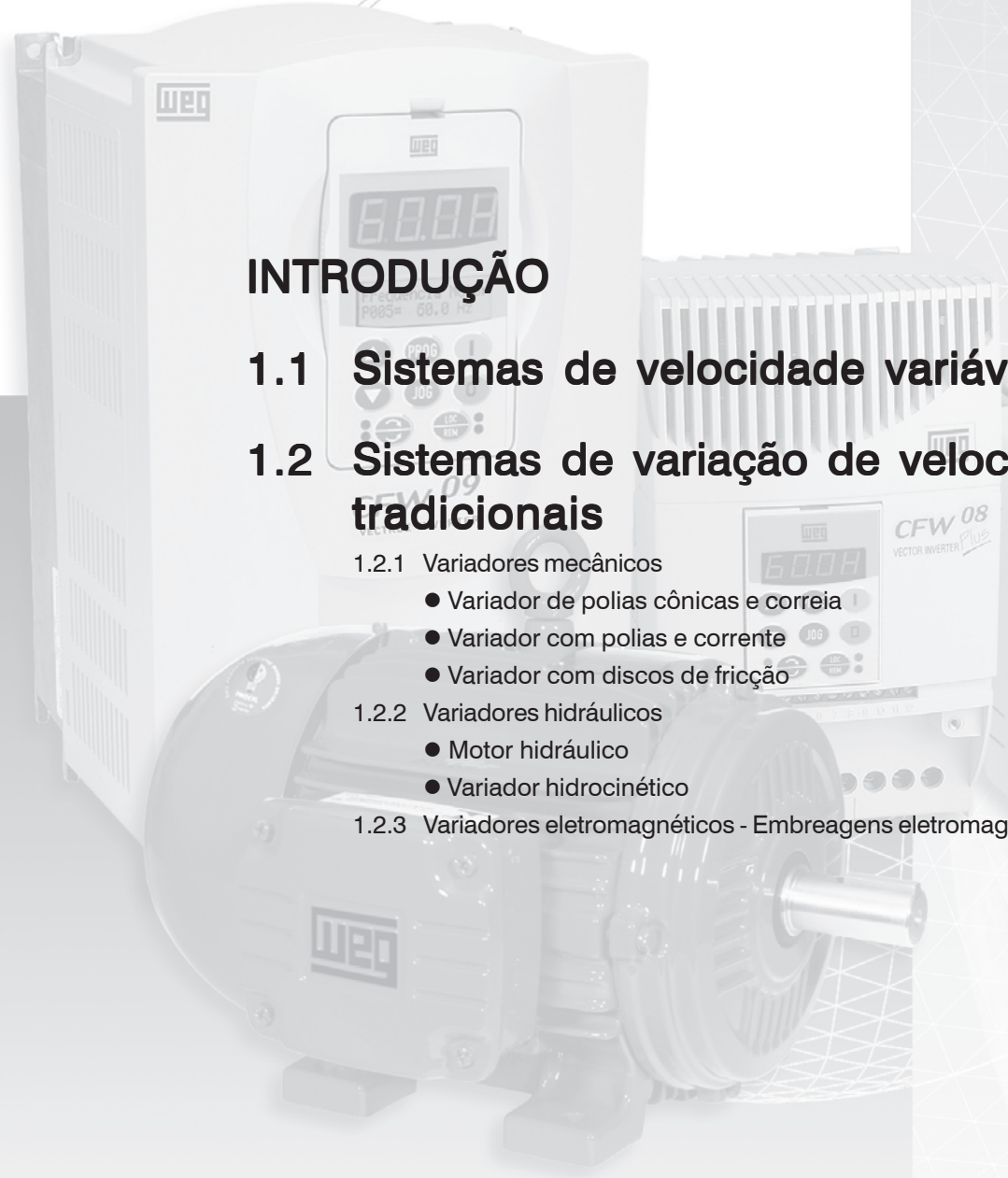
1 Introdução ____ 241
2 Distorção harmônica ____ 242
2.1 Origens ____ 242
2.2 Definições ____ 243
2.3 Obtenção das harmônicas de corrente ____ 245
3 Normas relacionadas ____ 246
4 Alternativas para correção do fator de potência e redução de correntes harmônicas ____ 248
4.1 Capacitores ____ 248
4.2 Reatância de rede e bobina CC ____ 248
4.3 Filtros sintonizados ____ 250
4.4 Filtros "broad-band" ____ 251
4.5 Filtros ativos ____ 252
4.6 Retificadores de 12 e 18 pulsos ____ 254
4.7 Retificadores com IGBTs ____ 255
4.7.1 Inversores de freqüência com entrada monofásica ____ 255
4.7.2 Inversores de freqüência com entrada trifásica ____ 255
4.8 Filtros de corrente do neutro ____ 256
4.9 Transformadores defasadores ____ 257
5 Conclusão ____ 258

ANEXO 3

CHECK-LIST PARA DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO

Inversores de freqüência
Folha de dados para dimensionamento ____ 261

Referências Bibliográficas ____ 263



1

INTRODUÇÃO

1.1 Sistemas de velocidade variável

1.2 Sistemas de variação de velocidade tradicionais

1.2.1 Variadores mecânicos

- Variador de polias cônicas e correia
- Variador com polias e corrente
- Variador com discos de fricção

1.2.2 Variadores hidráulicos

- Motor hidráulico
- Variador hidrocinético

1.2.3 Variadores eletromagnéticos - Embreagens eletromagnéticas

1 INTRODUÇÃO

Um acionamento elétrico é um sistema capaz de converter energia elétrica em energia mecânica (movimento), mantendo sob controle tal processo de conversão. Estes são normalmente utilizados para acionar máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de movimento controlado, como por exemplo a velocidade de rotação de uma bomba.

Um acionamento elétrico moderno é formado normalmente pela combinação dos seguintes elementos:

- Motor ..... converte energia elétrica em energia mecânica
- Dispositivo eletrônico .... comanda e/ou controla a potência elétrica entregue ao motor
- Transmissão mecânica ... adapta a velocidade e inércia entre motor e máquina (carga)

Os motores mais amplamente utilizados nos acionamentos elétricos são os motores de indução monofásicos e trifásicos.

Estes motores, quando alimentados com tensão e freqüência constantes, sempre que não estejam operando a plena carga (potência da carga igual a potência nominal do motor) estarão desperdiçando energia.

É importante ressaltar também o fato de que um motor de indução transforma em energia mecânica aproximadamente 85% de toda a energia elétrica que recebe e que os 15% restantes são desperdiçados, sendo assim o acionamento elétrico de máquinas um assunto de extraordinária importância no que se refere a economia de energia.

1.1 SISTEMAS DE VELOCIDADE VARIÁVEL

Durante muitos anos, as aplicações industriais de velocidade variável foram ditadas pelos requisitos dos processos e limitadas pela tecnologia, pelo custo, pela eficiência e pelos requisitos de manutenção dos componentes empregados.

Os sistemas mais utilizados para variação de velocidade foram por muito tempo implementados com motores de indução de velocidade fixa, como

primeiro dispositivo de conversão de energia elétrica para energia mecânica. Para a obtenção de velocidade variável o sistema necessitava de um segundo dispositivo de conversão de energia que utilizava componentes mecânicos, hidráulicos ou elétricos.

Com a disponibilidade no mercado dos semicondutores a partir dos anos 60 este quadro mudou completamente. Mas foi mesmo na década do 80 que, com o desenvolvimento de semicondutores de potência com excelentes características de desempenho e confiabilidade, foi possível a implementação de sistemas de variação de velocidade eletrônicos. O dispositivo de conversão de energia elétrica para mecânica continuou sendo o motor de indução mas agora sem a utilização de dispositivos secundários mecânicos, hidráulicos ou elétricos. Em muitos casos a eficiência das instalações equipadas com estes novos dispositivos chegou a ser duplicada quando comparada com os sistemas antigos.

Estes sistemas de variação continua de velocidade eletrônicos proporcionam, entre outras, as seguintes vantagens:

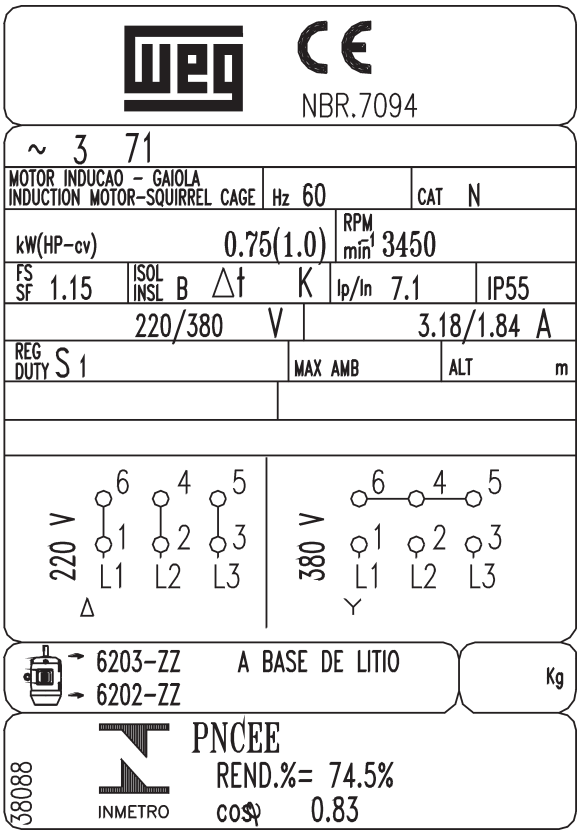
- Economia de energia
- Melhoramento do desempenho de máquinas e equipamentos, devido a adaptação da velocidade a os requisitos do processo
- Elimina o pico de corrente na partida do motor
- Reduz a freqüência de manutenção dos equipamentos
- Etc.

Estes novos dispositivos eletrônicos para variação de velocidade de motores de indução são conhecidos como **Inversores de Freqüência**. Trataremos neste guia de descrever o funcionamento e aplicações dos inversores de freqüência. Com este Guia, a WEG não tem a pretensão de esgotar o assunto, pois ele se renova a cada dia que passa. Temos como objetivo maior fornecermos maiores conhecimentos em comando e proteção de motores elétricos de indução utilizando-se inversores de freqüência.

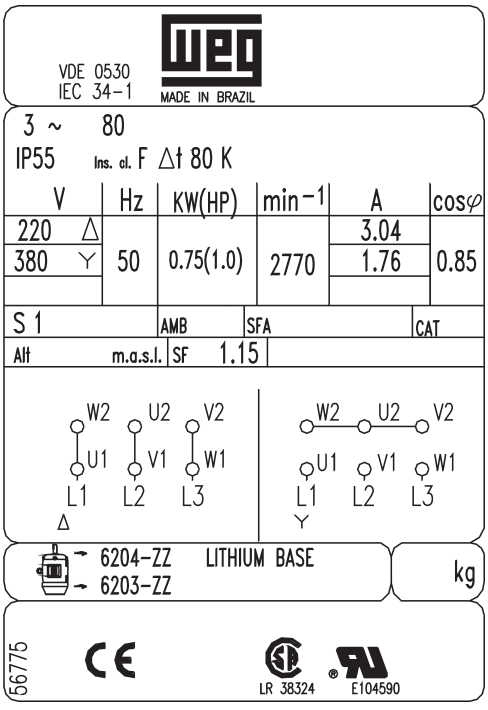
A aplicação de motores de indução tem se regido historicamente pelas características descritas na placa de identificação do motor.

Exemplo:

Placa de Identificação (mercado brasileiro)



Placa de Identificação (mercado latino)



Placa de Identificação (mercado americano)

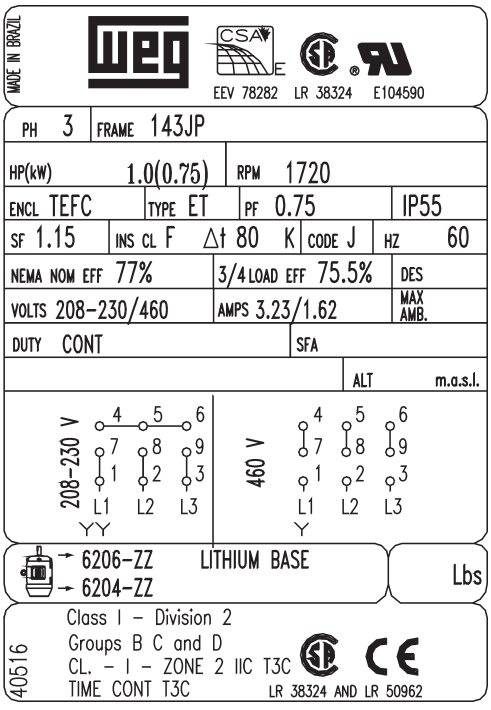


Figura 1.1

1 INTRODUÇÃO

Na aplicação dos inversores de freqüência o motor de indução, ao contrário do que acontece quando ligado diretamente à rede de distribuição de energia elétrica, é alimentado com freqüência e tensão variável. Isto possibilita, como veremos neste guia, obter velocidade variável no eixo do próprio motor.

É **muito importante,** assim, conhecer e entender o funcionamento destes sistemas (motor + inversor) para prevenir erros de aplicação que poderiam acabar com os benefícios que estes dispositivos proporcionam.

Os técnicos ou engenheiros envolvidos com aplicações de velocidade variável não precisam de conhecimentos sobre o projeto de motores e projeto de sistemas eletrônicos de comando/controle, mas sim sobre o funcionamento e utilização dos mesmos. As dúvidas mais freqüentes podem resumir-se nas seguintes perguntas:

- Como funciona meu motor?
- Como o motor se comporta ante uma determinada carga?
- Como eu posso melhorar/otimizar o funcionamento do meu motor e carga?
- Como eu posso identificar problemas no meu sistema?

Este guia tem por intenção, fornecer, mesmo para pessoas sem experiência no assunto, informações sobre o funcionamento dos modernos sistemas de velocidade variável disponíveis e como eles se comportam ante diferentes cargas, tentando assim responder as perguntas formuladas anteriormente.

1.2 SISTEMAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE TRADICIONAIS

Muitos processos industriais requerem dispositivos de acionamento de cargas com velocidade variável.

Exemplos:

- **Bombas** ⇨ variação de vazão de líquidos
- **Ventiladores** ⇨ variação de vazão de ar
- **Sistemas de transporte** ⇨ variação da velocidade de transporte
- **Sistemas de dosagem** ⇨ variação da velocidade de alimentação
- **Tornos** ⇨ variação da velocidade de corte

- **Bobinadeiras** ⇨ compensação da variação de diâmetro da bobina.

Os sistemas de variação de velocidade tradicionais empregavam motores de indução como dispositivo primário de conversão de energia. Como sabemos estes motores quando alimentados diretamente da rede de distribuição de energia elétrica possuem uma característica de velocidade constante. É assim que para se obter velocidade variável eram necessários adicionalmente outros dispositivos, que podem ser:

- Variadores mecânicos
- Variadores hidráulicos
- Variadores eletromagnéticos

1.2.1 Variadores Mecânicos

Os primeiros sistemas utilizados para se obter uma velocidade diferente das velocidades que eram possíveis utilizando motores de indução foram os sistemas mecânicos, pois são os de maior simplicidade de construção e baixo custo.

- **Variador com polias cônicas e correia**

Cada uma das polias cônicas é constituída de dois pratos cônicos, montados um de frente para o outro, sobre um eixo ranhurado, que podem se aproximar ou se afastar. O prato de uma das polias é acionado pelo dispositivo de variação, e o prato da outra é pressionado por uma mola. O fluxo de força é transmitido por fricção entre os discos das polias e a correia, que tem uma seção transversal trapezoidal. A faixa de variação de velocidade máxima é de 1:8 neste tipo de variador.

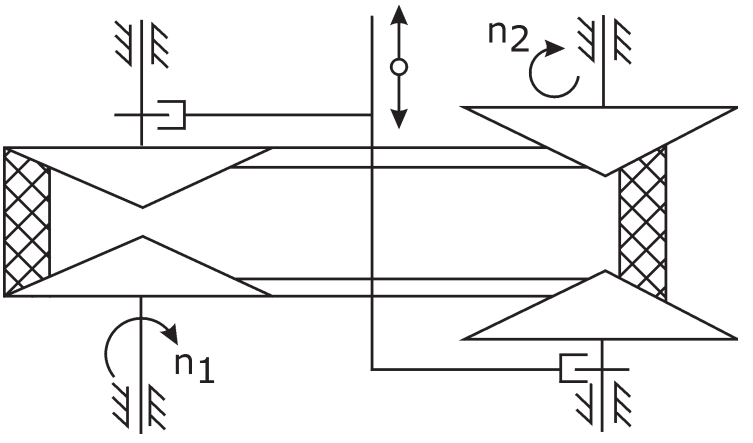


Figura 1.2 - Variador com polias cônicas e correia

- **Variador com polias cônicas e corrente**

Idem ao anterior, somente com uma corrente ao invés de correia.

- **Variador com discos de fricção**

Nos variadores com discos de fricção o fluxo de força é transmitido por fricção entre um par de discos, construídos com materiais de grande resistência à pressão superficial e ao desgaste, e de alto coeficiente de atrito. A pressão de contato necessária para transmitir a potência entre o eixo de entrada e o eixo de saída se auto-regula em função do torque transmitido. Um dispositivo de variação desloca um dos discos, variando a relação de transmissão. A faixa de variação de velocidade máxima neste tipo de variador é de 1:5.

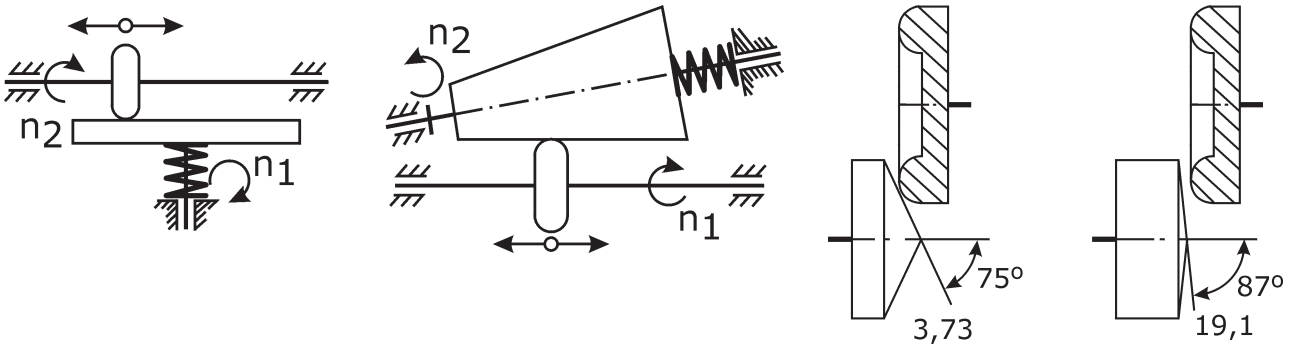


Figura 1.3 - Variadores com discos de fricção

1.2.2 Variadores Hidráulicos

- **Motor Hidráulico**

Este método permite variação contínua de velocidade. O motor hidráulico de deslocamento positivo é projetado e desenvolvido para converter a potência hidráulica de um fluído em potência mecânica. Esta conversão é feita através de um dispositivo de engrenagens planetárias ou através de acionamento de pistões com controle efetuado por válvulas e que permite se obter as seguintes características:

- Baixa rotação (5 a 500 rpm aproximadamente)
- Elevado torque
- Permite rotação nos dois sentidos
- Motores de baixa potência
- Baixo custo

Para o acionamento dos motores hidráulicos é necessário que se tenha um sistema hidráulico a

disposição (tubulações, bombas, motores elétricos auxiliares), que faz com que, em uma análise global do conjunto, o sistema tenha um rendimento baixo e um nível de manutenção elevado pela existência de várias partes mecânicas. O controle da variação de velocidade do motor é feita através da vazão do fluido injetado no motor (quanto maior a vazão, maior a velocidade) que é feito através de válvulas de estrangulamento no circuito hidráulico, ocasionando perdas elevadas.

- **Variador Hidrocinético**

Este método permite variação contínua de velocidade. O sistema consiste basicamente em um variador de velocidade de princípio hidrocinético, composto de um eixo de entrada, de rotação fixa, e de um eixo de saída, cuja rotação pode variar linearmente de zero até uma rotação muito próxima à do eixo de entrada. O princípio de operação pode ser demonstrado pelo seguinte:

Colocando-se dois ventiladores frente a frente e fazendo-se a hélice de um deles girar, a hélice do segundo ventilador irá começar a girar também ao receber a corrente de ar. Se não houvesse perdas, a rotação do segundo ventilador seria praticamente a mesma que a do ventilador acionador. Agora se colocarmos entre os dois ventiladores uma folha de papelão, poderemos diminuir ou aumentar a rotação do segundo ventilador conforme o desejado, em função do fluxo de ar existente.

No variador hidráulico, no lugar de ar usa-se óleo como fluido, e em vez das hélices, são usados discos aletados que são alojados em uma caixa fechada, montada sobre dois eixos independentes.

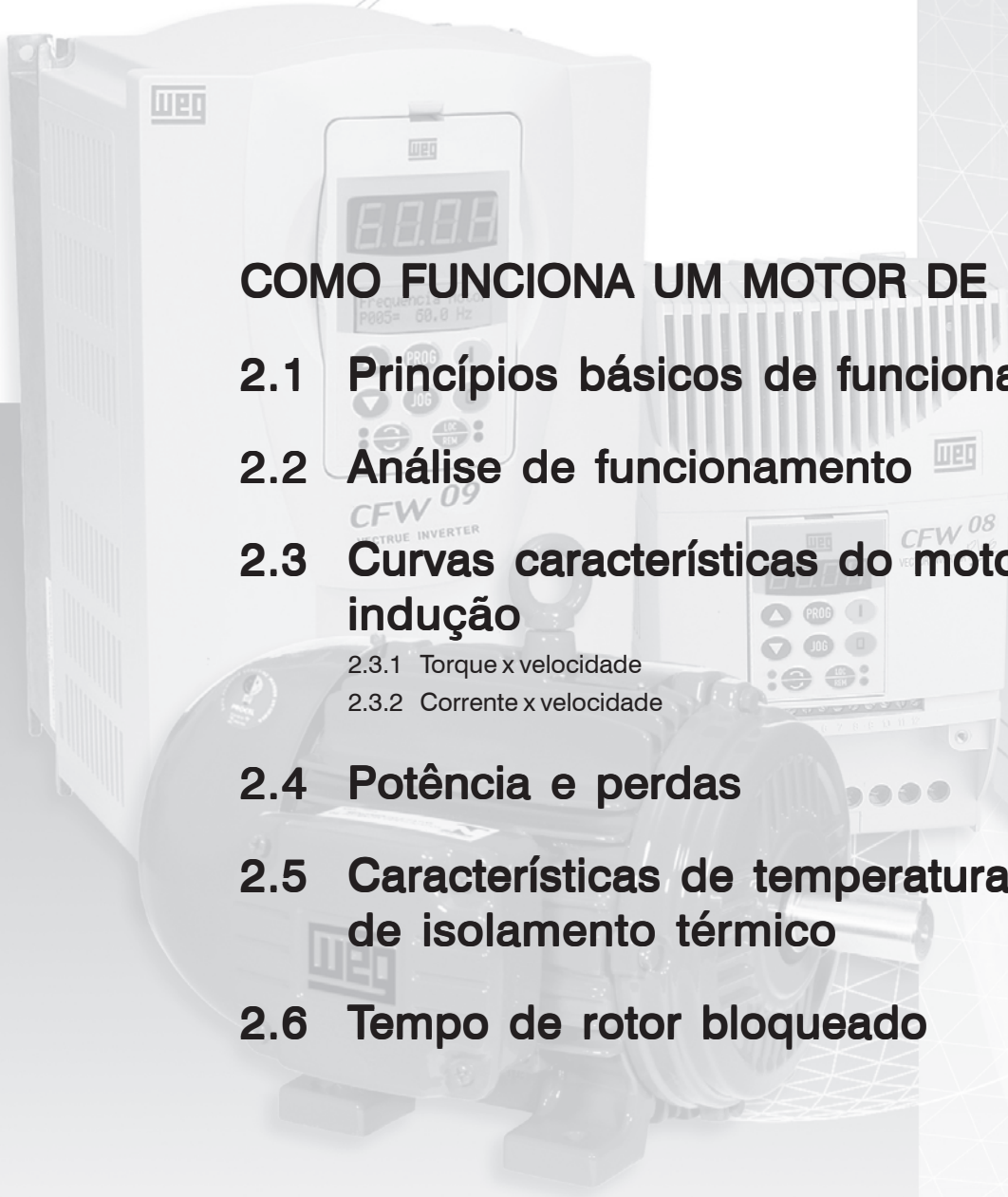
1.2.3 Variadores Eletromagnéticos - Embreagens Eletromagnéticas

Com os variadores eletromagnéticos mudou-se o conceito de variação exclusivamente mecânica para variação eletromecânica, através de técnicas baseadas no princípio físico das correntes de Foucault, utilizando um sistema de discos acoplados a bobinas que podem ter o seu campo magnético variável, variando-se assim o torque (e também a velocidade) na saída do variador. Algumas limitações devem ser observadas para a aplicação deste equipamento:

- A rotação máxima de saída é sempre a nominal do motor, nunca além desta;
- Aqui também o motor sempre estará girando na rotação nominal, independente da rotação desejada no eixo de saída. Isto proporciona um consumo inadequado (desperdício de energia), quando se opera em rotações abaixo da rotação nominal;
- rendimento deste tipo de acionamento é muito baixo, pois apresenta perdas por aquecimento e ruído;
- As manutenções preventivas e corretivas são freqüentes, pois existem muitas partes girantes as quais necessitam de ajustes constantes e substituições periódicas.

Tabela Comparativa dos Sistemas de Variação de Velocidade Tradicionais

	Polias Variadoras	Hidráulico	Eletromecânico
Faixa de variação de velocidade	pequena (1 a 4 máx.)	grande	média
Limite de potência	baixo	elevado	
Eficiência	baixa	baixa	baixa
Custo	baixo	elevado	baixo
Pontos fortes			partida suave
Pontos fracos	Escorregamento Manutenção difícil	Vazamentos Manutenção difícil	



2

COMO FUNCIONA UM MOTOR DE INDUÇÃO

2.1 Princípios básicos de funcionamento

2.2 Análise de funcionamento

2.3 Curvas características do motor de indução

2.3.1 Torque x velocidade

2.3.2 Corrente x velocidade

2.4 Potência e perdas

2.5 Características de temperatura - classes de isolamento térmico

2.6 Tempo de rotor bloqueado

2 COMO FUNCIONA UM MOTOR DE INDUÇÃO?

Para compreender o funcionamento de um Inversor de Freqüência é de fundamental importância entender primeiro como funciona um motor de indução. Para começar enunciaremos os princípios físicos básicos da conversão de energia elétrica em energia mecânica.

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO

1. Uma corrente circulando por um condutor produz um campo magnético, representado na figura 2.1 pelas linhas circulares chamadas de linhas de indução magnética. No centro da figura se encontra o condutor e as linhas circulares em volta são uma representação gráfica do campo magnético gerado pela corrente.

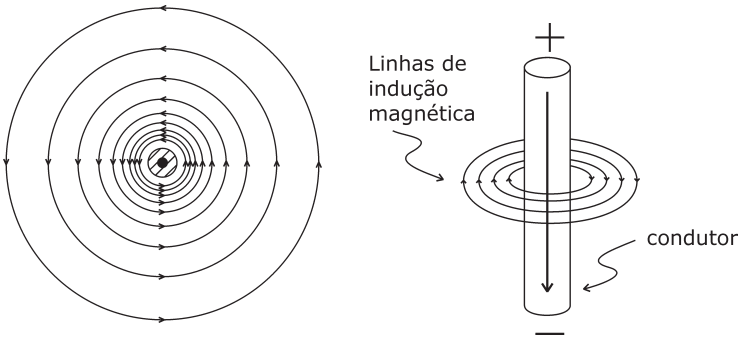


Figura 2.1

2. Se um condutor é movimentado dentro de um campo magnético, aparecerá uma tensão induzida entre os terminais do condutor, proporcional ao número de linhas de indução cortadas por segundo (figura 2.2). Se o dito condutor forma um circuito fechado, circulará por ele uma corrente elétrica.

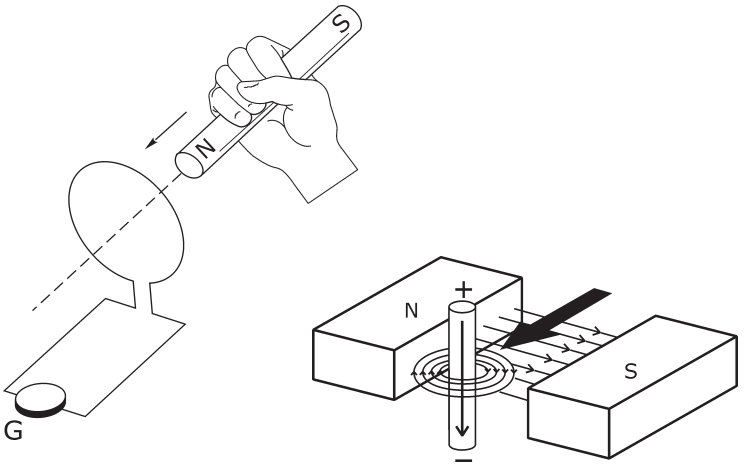


Figura 2.2

3. Dois condutores adjacentes (a e b) pelos quais está circulando uma corrente elétrica (i_a e i_b) produzem cada um deles um campo magnético (Item 1). A interação entre estes dois campos magnéticos produzirá uma força (F) de atração ou repulsão entre os condutores (figura 2.3), proporcional à corrente que circula por ambos condutores e à distância (d) entre eles.

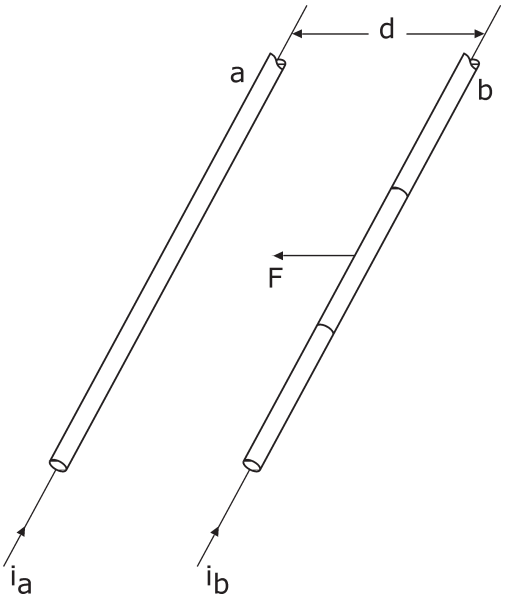
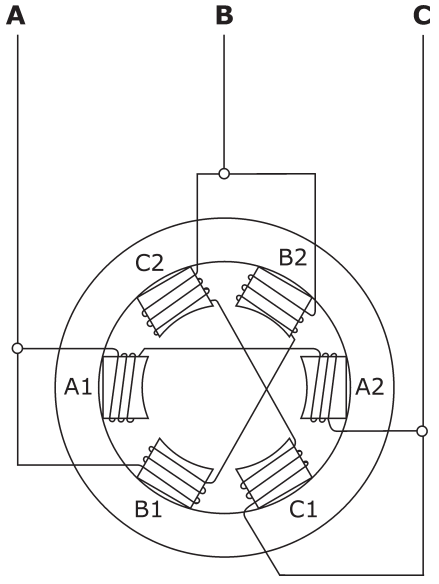


Figura. 2.3

4. Um bobinado polifásico, igual ao mostrado na figura 2.4, alimentado por um sistema de tensões trifásico (figura 2.5) produzirá um campo magnético girante (figura 2.6). Este princípio é similar ao visto na figura 2.1, com a diferença que neste o campo magnético é estático.



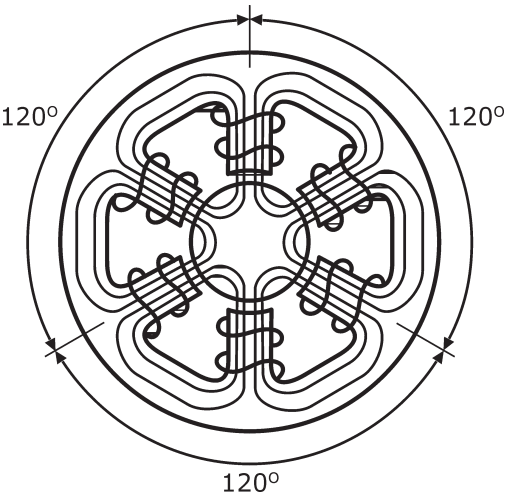


Figura 2.4

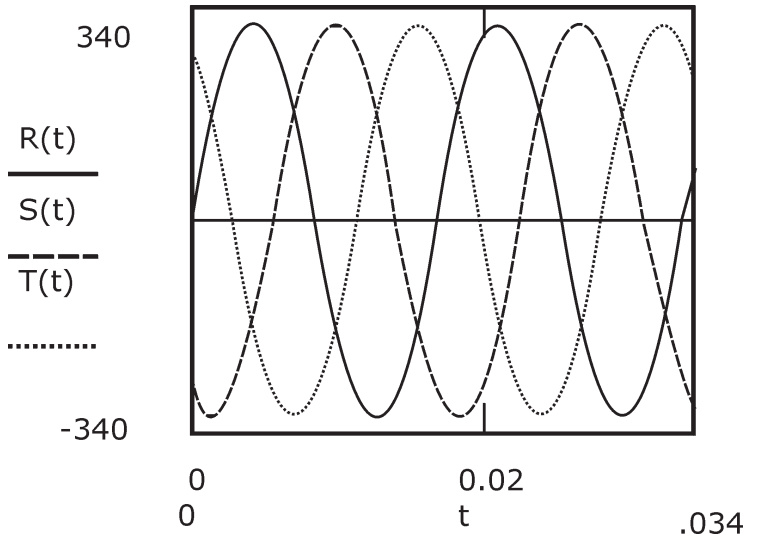


Figura 2.5

Na figura 2.6, os pontos identificados com os números ①...⑦ correspondem aos momentos em que a tensão de uma das três fases é igual a zero. Desta maneira é mais fácil fazer a composição dos vetores de indução magnética para cada instante. Na figura pode-se ver que a resultante destes vetores está girando (campo girante) com uma velocidade proporcional a freqüência e ao número de pólos do motor.

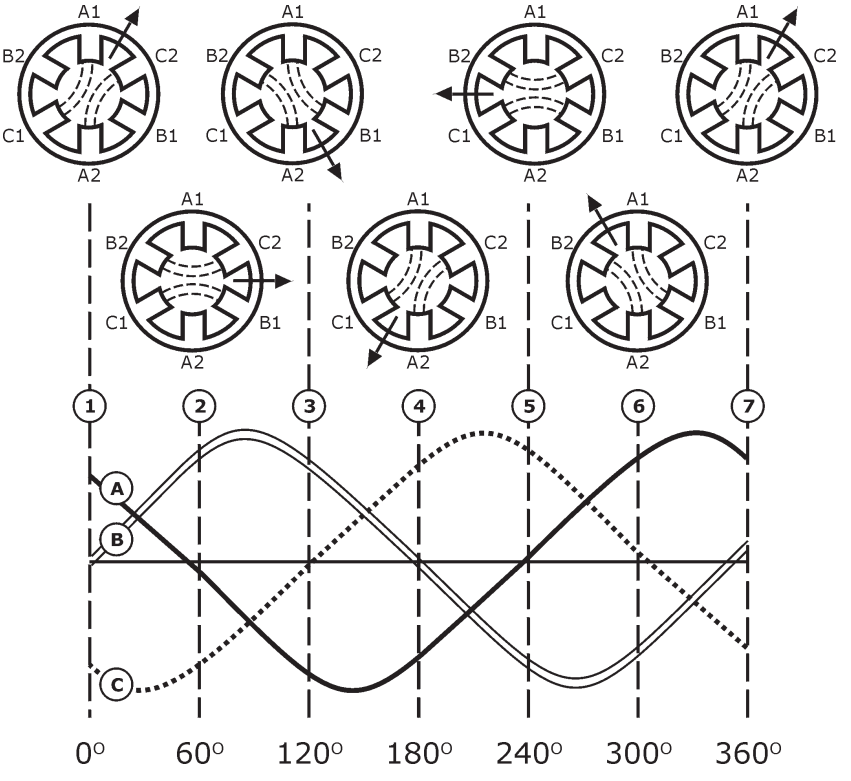


Figura 2.6

5. A velocidade do campo girante descrito anteriormente, chamada de velocidade síncrona, é proporcional à freqüência do sistema de tensões trifásico e ao número de pólos do bobinado.

   Velocidade do campo girante [rpm]= (freqüência [1/s] x 120) / n° de pólos

6. Torque: força aplicada num eixo, que provocará a rotação do mesmo (figura 2.7).

   Torque [Kgm]= força [Kg] x distância [m]

Figura 2.7

Os motores de indução mais utilizados na indústria são os chamados **motores de gaiola trifásicos** (figura 2.8 - rotor e estator).

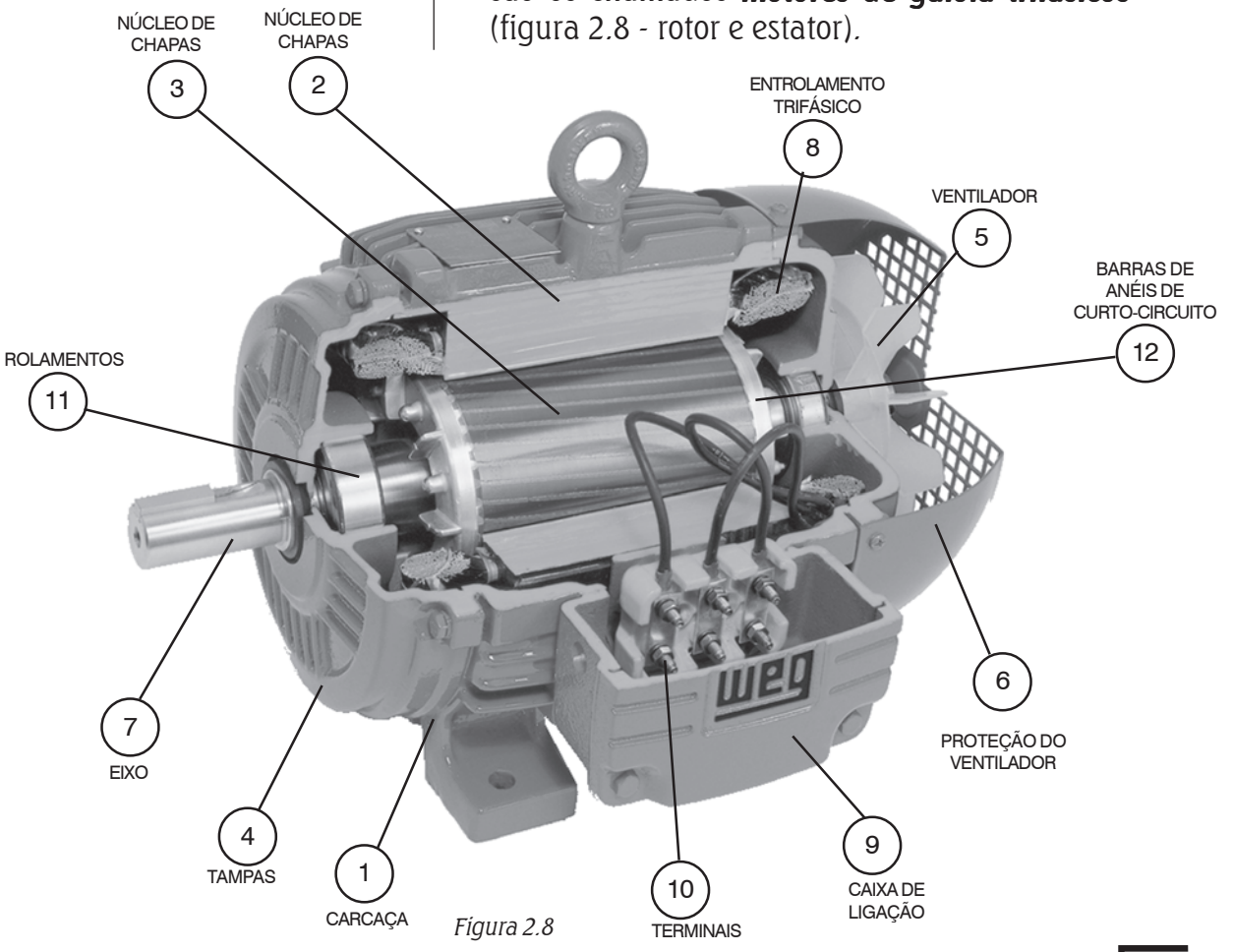


Figura 2.8

Estator: Carcaça (1), Núcleo de Chapas (2), Enrolamento trifásico (8)
Rotor: Eixo (7), Núcleo de chapas (3), Barras e anéis de curto-circuito (12)
Outras partes: Tampas (4), Ventilador (5), Proteção do ventilador (6), Caixa de ligação (9), Terminais (10), Rolamentos (11).

Nestes motores o rotor é fabricado com espiras em curto-circuito formando uma verdadeira gaiola. O estator é formado por três bobinas (bobinado trifásico), com pares de pólos em cada fase.

2.2 ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO

Para análise de funcionamento pode se considerar o motor de indução como um transformador, onde o enrolamento primário deste transformador é formado pelo estator e o enrolamento secundário pelo rotor. O próprio nome "motor de indução" se deve ao fato de que toda a energia requerida pelo rotor para a geração de torque é "induzida" pelo primário do transformador (estator) no secundário (rotor).

Como existem dois campos magnéticos, um no estator e outro no rotor, e como descrito no item 3, aparecerá uma força entre o rotor e o estator que fará com que o rotor gire, já que é o único que pode se movimentar pois está montado sobre rolamentos, disponibilizando assim energia mecânica (torque) no seu eixo.

Para facilitar o entendimento do funcionamento do motor de indução dividiremos o estudo em três casos hipotéticos:

CASO 1

Primeiramente consideraremos um motor de dois pólos com o "rotor bloqueado", isto significa que através de algum dispositivo mecânico impediremos que o eixo do motor (rotor) gire. Nesta condição, se aplicarmos tensão trifásica com freqüência de 60Hz nos terminais do bobinado do estator, este produzirá um campo magnético girante com velocidade de 3600 rpm (item 5). As linhas de indução deste campo magnético "cortarão" as espiras do rotor com velocidade máxima induzindo assim a máxima tensão nas espiras do rotor, e como estas estão em curto-circuito, circulará também a máxima corrente por elas. Como toda a energia produzida no rotor tem de

ser "induzida" pelo estator, circulará no bobinado do estator uma corrente elevada (6 a 8 vezes maior que a corrente nominal do motor).

Se esta condição for mantida por mais que alguns segundos os fios do bobinado do estator irão esquentar de forma indevida, podendo até danificar (queimar) o bobinado, pois não foram projetados para suportar esta corrente por um período de tempo grande.

CASO 2

Agora vamos para o outro extremo. Vamos supor que o rotor do motor possa girar exatamente à velocidade de 3600 rpm. Neste caso as linhas de indução do campo magnético girante produzido pelo estator "não cortarão" as espiras do rotor pois os dois estão girando com mesma velocidade. Sendo assim não haverá tensão induzida, nem corrente, nem geração de campo magnético.

Para a produção de energia mecânica (torque) no motor é necessária a existência de dois campos magnéticos, sendo assim, não haverá torque no eixo do motor.

CASO 3

Vamos supor agora que, nas mesmas condições do Caso 2, baixamos a velocidade do rotor do motor para 3550 rpm. O campo magnético girante tem uma velocidade de 3600 rpm, é assim que as linhas de indução do campo magnético girante do estator "cortarão" as espiras do rotor com uma velocidade de 50 rpm (3600 rpm – 3550 rpm = 50 rpm), produzindo uma tensão e uma corrente induzida no rotor. A interação entre os dois campos magnéticos, o do estator e o do rotor, produzirão uma força, que pela sua vez produzirá torque no eixo do motor.

A diferença entre a velocidade síncrona (3600 rpm) e a velocidade do rotor é conhecida como "escorregamento".

Escorregamento = velocidade síncrona – velocidade do rotor

$$S = \frac{(N_s - N)}{N_s}$$

Descritas estas três condições, podemos agora imaginar o que acontece na prática com nosso motor de indução.

Na partida acontece algo similar ao descrito no caso 1, mas na prática a diferença do rotor bloqueado do caso 1 nosso motor pode girar livremente. Sendo assim circulará no bobinado do estator uma corrente elevada (6 a 8 vezes maior que a corrente nominal do motor) que diminuirá a medida que a velocidade do motor aumenta.

Quando a velocidade do rotor se aproxima da velocidade síncrona (caso 2) o torque produzido diminuirá, fazendo diminuir também a velocidade do rotor. Existirá então um ponto de equilíbrio entre a carga do motor e a velocidade do rotor (caso 3).

Se a carga no eixo do motor aumenta, a velocidade do rotor tenderá a diminuir, e o escorregamento aumentará. Se o escorregamento aumenta a velocidade com que as linhas de indução do campo magnético do rotor "cortam" o estator aumentará, aumentando também a tensão e corrente induzida no rotor. Se a corrente é maior, o campo magnético gerado por esta também será maior, aumentando assim o torque disponível no eixo do motor, chegando novamente numa condição de equilíbrio. Se o torque requerido pela carga é maior que o nominal do motor, e se esta condição é mantida por muito tempo, a corrente do motor será maior que a nominal e o motor será danificado.

2.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO MOTOR DE INDUÇÃO

2.3.1 Torque x Velocidade

É a curva que mostra a relação entre o torque desenvolvido pelo motor e a sua rotação. Na partida, quando o motor é ligado diretamente à rede, o torque (torque de partida) será de aproximadamente 2 a 2,5 vezes o torque nominal, diminuindo a medida que a velocidade aumenta até atingir um valor de 1,5 a 1,7 do torque nominal a aproximadamente 30% da velocidade nominal. A medida que a velocidade aumenta o torque aumenta novamente até atingir o seu valor máximo (80% da velocidade nominal) chegando a seu valor nominal na velocidade nominal. Como mostra a curva (linha cheia) da figura 2.9.

2.3.2 Corrente x Velocidade

É a curva (linha tracejada da figura 2.9) que mostra a relação entre a corrente consumida pelo motor em função da sua velocidade. A figura mostra que na partida, quando o motor é ligado diretamente à rede, a corrente que circula por ele será 5 a 6 vezes maior que a corrente nominal, diminuindo a medida que a velocidade aumenta até atingir um valor estacionário determinado pela carga acoplada ao motor. Se a carga for a nominal a corrente será também a corrente nominal.

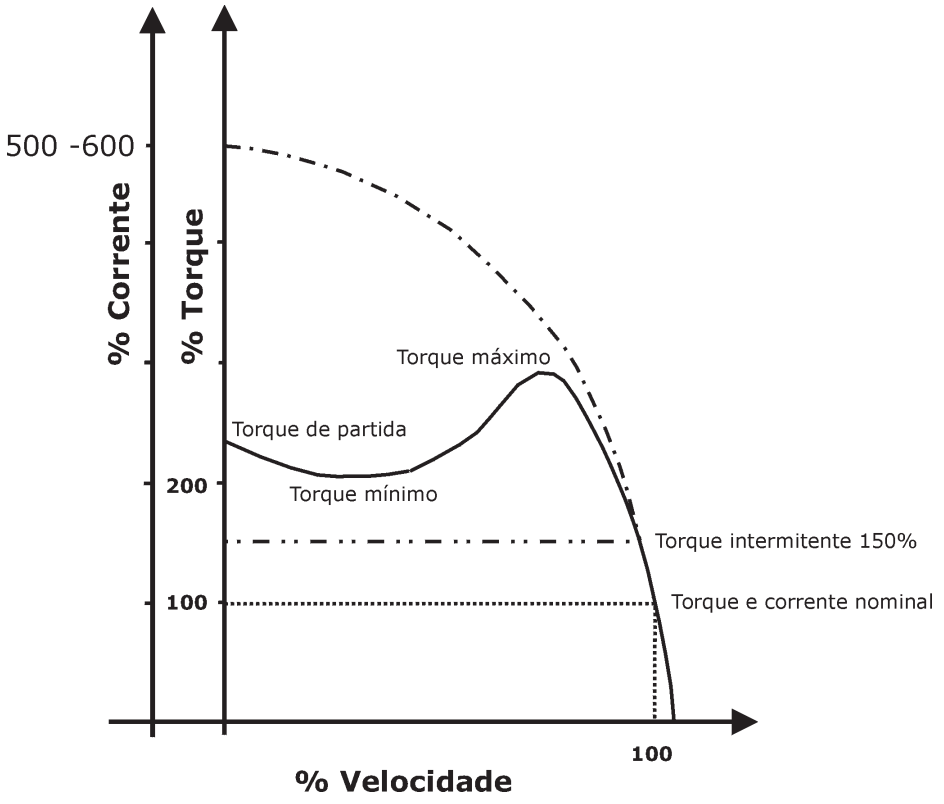


Figura 2.9 - Curva Torque x Velocidade e Corrente x Velocidade para motores de indução de rotor em gaiola alimentados com tensão e freqüência constantes

2.4 POTÊNCIA E PERDAS

Na placa de identificação do motor existe um parâmetro chamado de rendimento e identificado pela letra grega η. Este parâmetro é uma medida da quantidade de potência elétrica transformada pelo motor em potência mecânica. A potência transmitida à carga pelo eixo do motor é menor que a potência elétrica absorvida da rede, devido às perdas no motor. Essas perdas podem ser classificadas em:

- perdas no enrolamento estatórico (perdas no cobre);
- perdas no rotor;
- perdas por atrito e ventilação;
- perdas magnéticas no núcleo (perdas no ferro);

2.5 CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA - CLASSES DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Sendo o motor de indução uma máquina robusta e de construção simples, a sua vida útil depende quase exclusivamente da vida útil da isolação do bobinado e da vida mecânica dos rolamentos. Vida útil da isolação refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, não suportando mais a tensão aplicada e produzindo curto-circuito entre as espiras do bobinado.

Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil. As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme norma NBR-7094, são mostradas na tabela a seguir:

Tabela 2.1 - Classes de isolamento

CLASSE	TEMPERATURA (°C)
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

As classes B e F são as freqüentemente utilizadas.

O sistema de isolamento convencional dos motores, que tem sido utilizado com sucesso em todos os casos de alimentação com fontes senoidais tradicionais (50/60Hz) pode não atender os requisitos necessários se os mesmos forem alimentados por outro tipo de fonte. É o caso dos motores alimentados por inversores de freqüência. Atualmente, com a utilização generalizada destes equipamentos, o problema do rompimento da isolação provocado pelos altos picos de tensão decorrentes da rapidez de crescimento dos

pulsos gerados pelo inversor, bem como a alta freqüência com que estes são produzidos, obrigou a implementar melhorias no isolamento dos fios e no sistema de impregnação, afim de garantir a vida dos motores. Estes motores com isolamento especial são chamados de "Inverter Duty Motors".

2.6 TEMPO DE ROTOR BLOQUEADO

Tempo de rotor bloqueado é o tempo necessário para que o enrolamento da máquina, quando percorrido pela sua corrente de partida, atinja a sua temperatura limite, partindo da temperatura em condições nominais de serviço e considerando a temperatura ambiente no seu valor máximo.

Este tempo é um parâmetro que depende do projeto da máquina. Encontra-se normalmente no catálogo ou na folha de dados do fabricante. A tabela abaixo mostra os valores limites da temperatura de rotor bloqueado, de acordo com as normas NEMA e IEC.

Tabela 2.2 - Temperatura limite de rotor bloqueado

CLASSE DE ISOLAMENTO	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)		$\Delta T_{máx}$(°C)
	NEMA MG1.12.53	IEC 79.7	
B	175	185	80
F	200	210	100
H	225	235	125

Para partidas com tensão reduzida o tempo de rotor bloqueado pode ser redefinido como segue:

$$t_{rb} = t_b \times (U_n / U_r)^2$$

Onde:

t_{rb} = Tempo de rotor bloqueado com tensão reduzida

t_b = Tempo de rotor bloqueado à tensão nominal

U_n = Tensão nominal

U_r = Tensão reduzida

Outra forma de se redefinir o tempo de rotor bloqueado é através da utilização da corrente aplicada ao motor, como segue:

$$t_{rb} = t_b \cdot \left(\frac{I_{pn}}{I_{pc}} \right)^2$$

Onde:

t_{rb} = Tempo de rotor bloqueado com corrente reduzida

t_b = Tempo de rotor bloqueado à corrente nominal

I_{pn} = Corrente de partida direta do motor

I_{pc} = Corrente de partida do motor com corrente reduzida

Geralmente, I_{pn} é obtido de catálogos e possui o valor em torno de 6 a 8 vezes a corrente nominal do motor, e I_{pc} depende do método de partida do motor. Se por exemplo esta partida for do tipo estrela-triângulo o valor da corrente será de aproximadamente 1/3 da corrente de partida.

3

MÉTODOS DE COMANDO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO

3.1 Categorias de Partida

3.2 Formas de Partida

- Partida direta
- Partida estrela-triângulo
- Partida eletrônica (soft-starter)

3.3. Frenagem

3.3.1 Frenagem por contra-corrente

3.3.2 Frenagem por injeção de CC

3.4 Vantagens e desvantagens dos métodos de partida

- Partida direta
- Partida estrela-triângulo
- Partida eletrônica (soft-starter)

3 MÉTODOS DE COMANDO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO

Os métodos de comando de um motor de indução, são implementados com equipamentos eletromecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos permitem acelerar (partir) e desacelerar (frenar) o motor de acordo com requisitos impostos pela carga, segurança, concessionárias de energia elétrica, etc.

3.1 CATEGORIAS DE PARTIDA

Conforme as suas características de torque em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola, são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma (NBR 7094), e são as seguintes:

a) CATEGORIA N
Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes, e ventiladores.

b) CATEGORIA H
Usados para cargas que exigem maior torque na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc.

c) CATEGORIA D
Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de torques de partida muito altos e corrente de partida limitada.

Tabela 3.1 - Características das categorias de partida direta

Categorias de partida	Torque de partida	Corrente de partida	Escorregamento
N	Normal	Normal	Baixo
H	Alto	Normal	Baixo
D	Alto	Normal	Alto

As curvas torque x velocidade das diferentes categorias estão mostradas na figura 3.1.

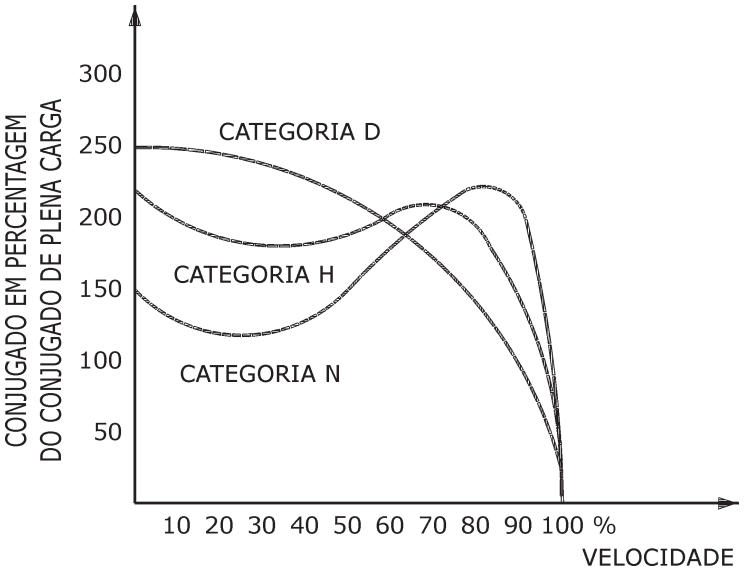


Figura 3.1 - Curvas características de torque em função da categoria do motor (partida direta)

3.2 FORMAS DE PARTIDA

● PARTIDA DIRETA

A maneira mais simples de partir um motor de indução é a chamada partida direta, aqui o motor é ligado à rede diretamente através de um contator (ver figura 3.2). Porém, deve-se observar que para este tipo de partida existem restrições de utilização. Como já foi visto anteriormente, a corrente de partida de um motor de indução quando ligado diretamente à tensão da rede é 5 a 6 vezes maior que a corrente nominal. Por este motivo, e fundamentalmente para motores de grande porte, a partida direta não é utilizada.

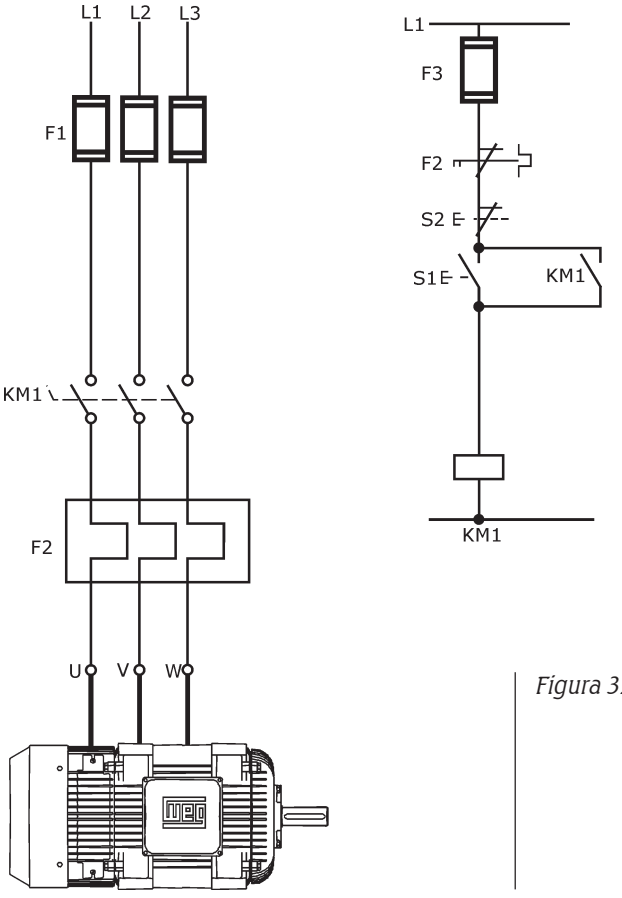


Figura 3.2 - Partida Direta

• PARTIDA ESTRELA - TRIÂNGULO (Y- Δ)

Este tipo de partida só pode ser utilizado em motores que possuam ligação em dupla tensão (por exemplo 3 x 380 V e 3 x 220 V). A menor tensão deverá ser igual à tensão de rede e a outra 1,73 vezes maior. Esta partida é implementada com dois contatores como mostra a figura 3.3. Na partida o motor é ligado na conexão de maior tensão, isto possibilita uma redução de até 1/3 da corrente de partida do motor, como mostra a figura 3.4.

A partida estrela-triângulo poderá ser usada quando a curva de torque do motor for suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida, ou seja, o torque resistente da carga não deverá ser superior ao torque do motor quando o motor estiver em estrela.

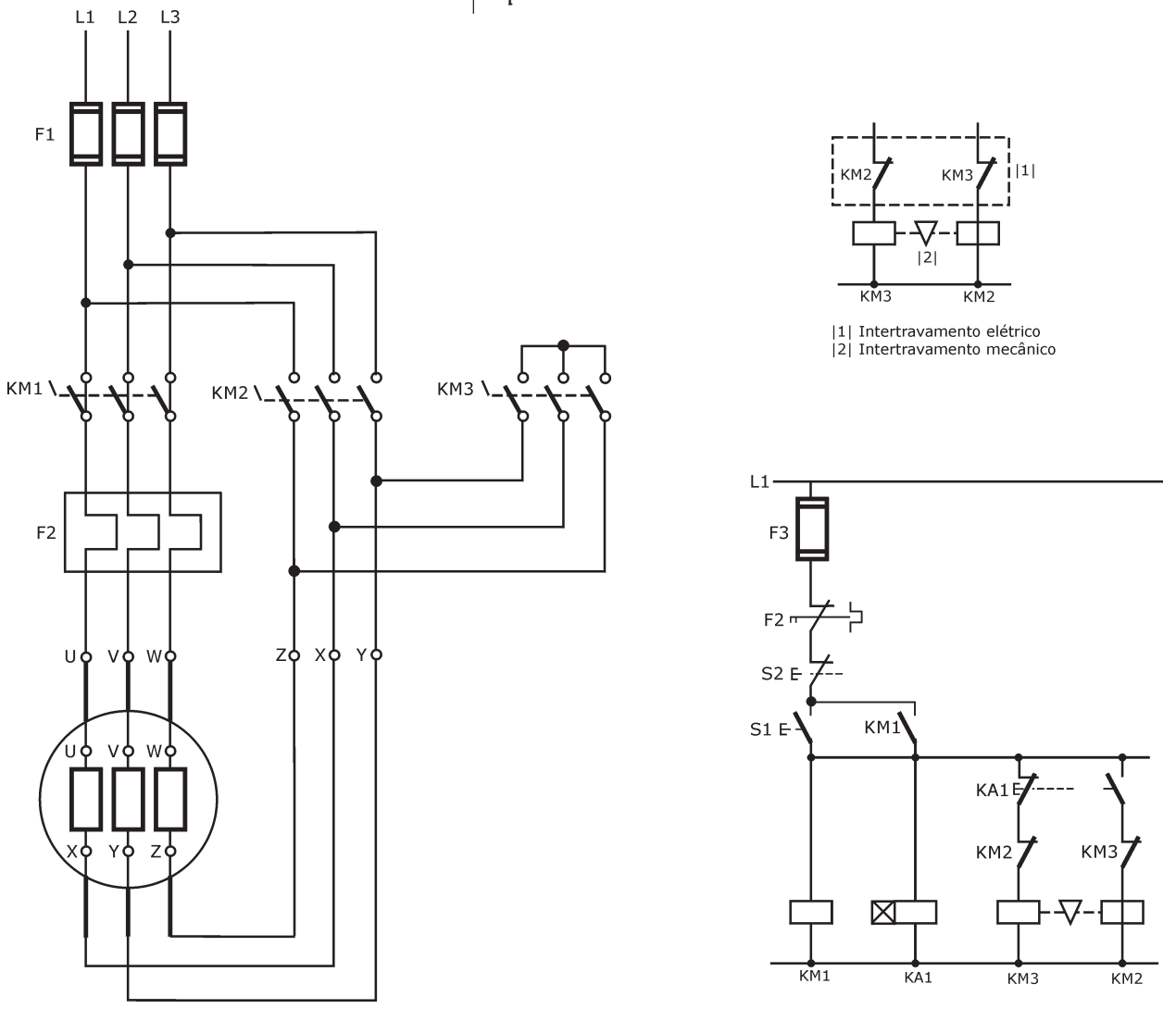


Figura 3.3 - Partida estrela-triângulo

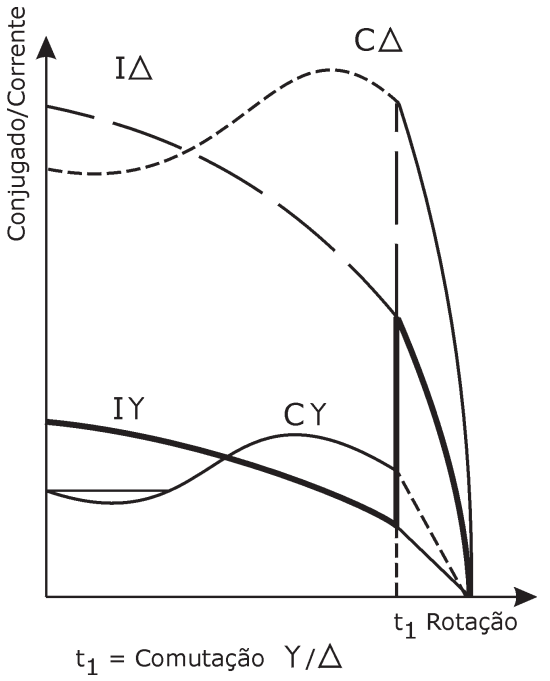
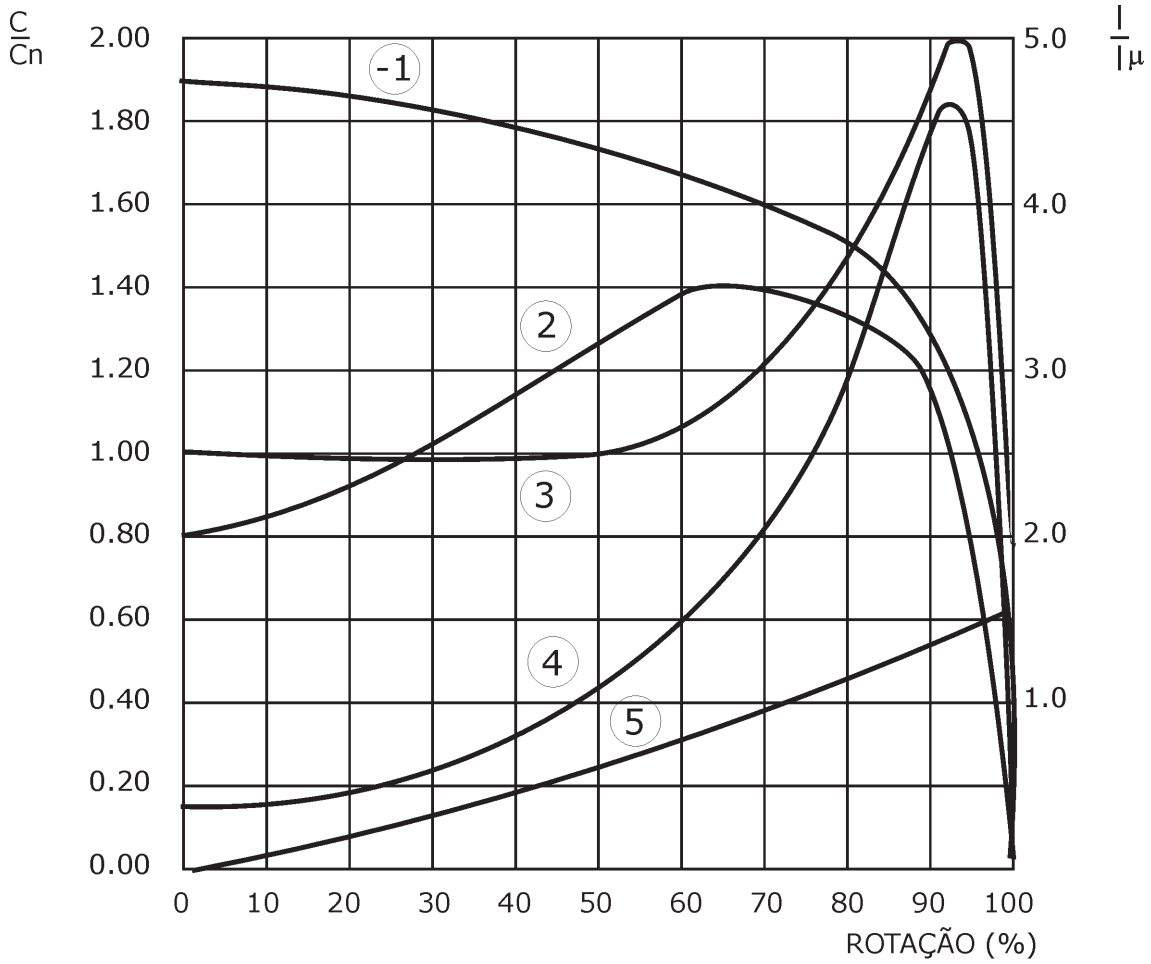


Figura 3.4 - Curva característica de torque e corrente, motor com partida estrela-triângulo

● PARTIDA ELETRÔNICA (SOFT-STARTER)

A chave de partida a estado sólido consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor.

O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável no motor durante a aceleração. Este comportamento é, muitas vezes, chamado de partida suave (soft-starter). No final do período de partida, ajustável conforme a aplicação, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido a transição brusca, como ocorre com o método de partida por ligação estrela-triângulo. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida (ver figura 3.5) próxima da nominal e com suave variação, como desejado.



1 - CORRENTE DE PARTIDA DIRETA
2 - CORRENTE DE PARTIDA C/SOFT-STARTER
3 - CONJUGADO COM PARTIDA DIRETA
4 - CONJUGADO COM SOFT-STARTER
5 - CONJUGADO DA CARGA

Figura 3.5 - Curva característica de torque e corrente, motor com partida suave (soft-starter)

Além da vantagem do controle da corrente durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco elétrico, como nas chaves eletro-mecânicas. Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil é mais longa, assim como dos componentes acessórios (contatores, fusíveis, cabos, etc.).

Ainda, como um recurso adicional, a soft-starter apresenta a possibilidade de efetuar a desaceleração suave para cargas de baixa inércia.

3.3 FRENAGEM

Os motores de indução possibilitam várias formas de frenagem, isto é, onde se tem s < 0 e o motor opera com características de gerador. A seguir apresentaremos dois métodos de frenagem elétrica.

3.3.1 Frenagem por contra-corrente

Obtém-se a frenagem por contra-corrente através da inversão de duas fases da tensão de alimentação do enrolamento estatórico (ver figura 3.7), para reverter a direção de rotação do campo girante do motor com o mesmo girando ainda na direção inicial. Dessa forma, a rotação do rotor fica agora contrária a um torque que atua em direção oposta (ver figura 3.6) e começa a desacelerar (frenar). Quando a velocidade cai a zero o motor deve ser desenergizado, caso contrário, passará a funcionar em sentido oposto. Para este tipo de frenagem, as correntes induzidas nos enrolamentos rotóricos são de freqüências altas (duas vezes a freqüência estatórica) e de elevada intensidade, pois o torque desenvolvido pelo motor é elevado, onde há a absorção de potência elétrica da rede com corrente maior que a nominal, acarretando em um sobreaquecimento do motor.

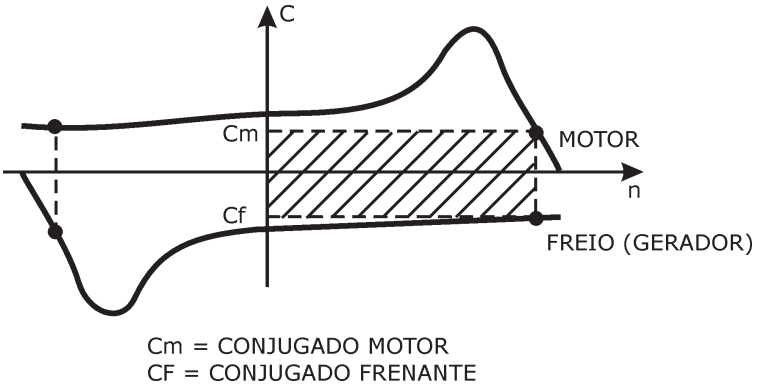


Figura 3.6. Curva de torque x rotação na frenagem por contra-corrente

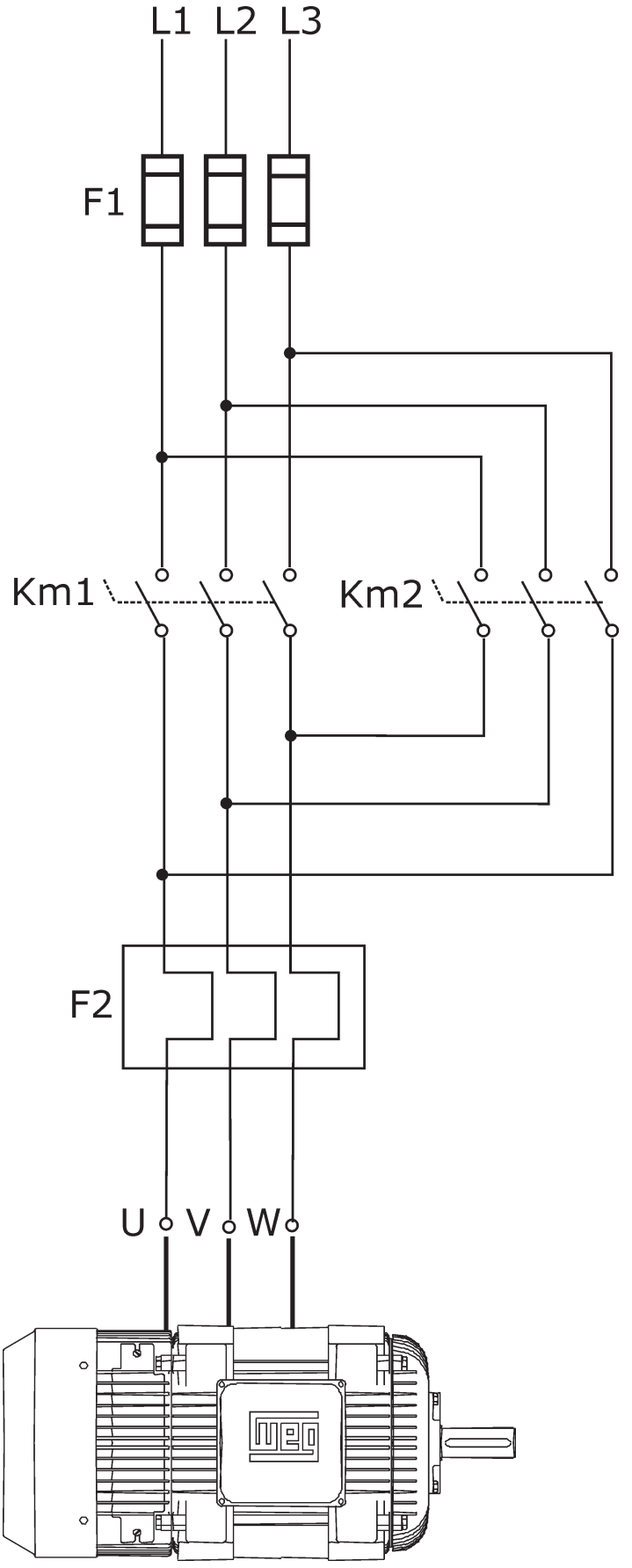


Figura 3.7 - Frenagem por contracorrente

3.3.2 Frenagem por injeção de corrente contínua (CC)

É obtida através da desconexão do estator da rede de alimentação e da posterior conexão a uma fonte de corrente contínua (ver figura 3.9). A corrente contínua enviada ao enrolamento estatórico estabelece um fluxo magnético estacionário cuja curva de distribuição tem uma fundamental de forma senoidal. A rotação do rotor em seu campo produz um fluxo de corrente alternada no mesmo, o qual também estabelece um campo magnético estacionário com respeito ao estator. Devido à interação do campo magnético resultante e da corrente rotórica, o motor desenvolve um torque de frenagem (ver figura 3.8) cuja magnitude depende da intensidade do campo, da resistência do circuito rotórico e da velocidade do rotor.

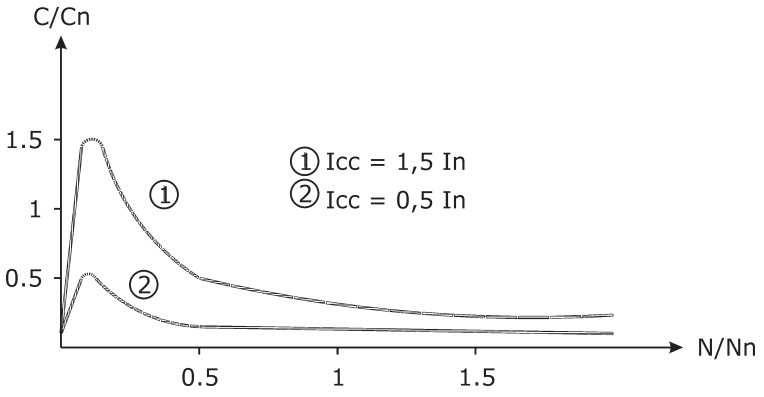


Figura 3.8 - Curva de torque x rotação durante a frenagem CC

Como veremos posteriormente, quando utilizado um inversor de freqüência, a tensão contínua a ser aplicada no estator do motor é obtida através do disparo dos transistores do inversor, não necessitando de nenhum dispositivo adicional, pois a tensão CC é proveniente do próprio circuito intermediário do inversor.

Na prática, a frenagem CC tem sua aplicação limitada devido ao fato de que toda a energia de frenagem é dissipada no próprio motor, podendo causar sobreaquecimento excessivo no mesmo. Assim, para não comprometer a vida útil do motor, utiliza-se a frenagem CC com tensões contínuas limitadas a aproximadamente 20% da tensão nominal CA do motor.

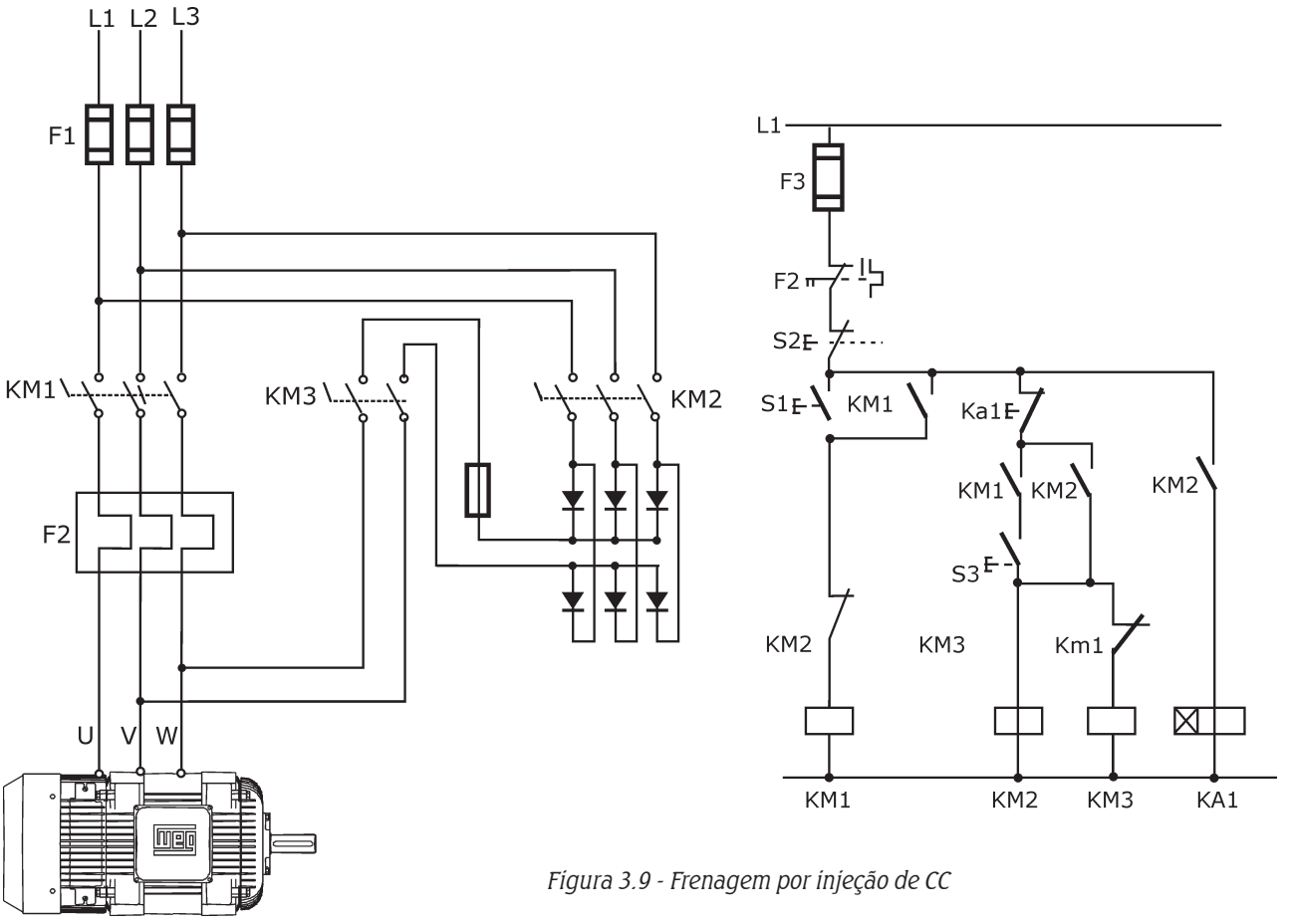


Figura 3.9 - Frenagem por injeção de CC

3.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS DE PARTIDA

● PARTIDA DIRETA

Vantagens

- Menor custo de todas
- Muito simples de implementar
- Alto torque de partida

Desvantagens

- Alta corrente de partida, provocando queda de tensão na rede de alimentação. Em função disto pode provocar interferência em equipamentos ligados na mesma instalação
- É necessário sobredimencionar cabos e contatores
- Limitação do número de manobras/hora

● PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Vantagens
- Custo reduzido
- A corrente de partida é reduzida a 1/3 quando comparada com a partida direta
- Não existe limitação do número de manobras/hora

Desvantagens
- Redução do torque de partida a aproximadamente 1/3 do nominal
- São necessários motores com seis bornes
- Caso o motor não atingir pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente ao da partida direta
- Em casos de grande distância entre motor e chave de partida, o custo é levado devido a necessidade de seis cabos.

● PARTIDA ELETRÔNICA (SOFT-STARTER)

Vantagens
- Corrente de partida próxima à corrente nominal
- Não existe limitação do número de manobras/hora
- Longa vida útil pois não possui partes eletromecânicas móveis
- Torque de partida próximo do torque nominal
- Pode ser empregada também para desacelerar o motor

Desvantagens
- Maior custo na medida em que a potência do motor é reduzida

4

O INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

4.1 Métodos de controle dos inversores de freqüência

- Controle escalar
- Controle vetorial

4.2 Características dos motores de indução acionados com inversores de freqüência

4 O INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

No capítulo anterior vimos diferentes alternativas de comandar um motor de indução a partir da rede de alimentação; em todos estes casos a freqüência de alimentação foi a da rede, isto é, 60Hz. É assim que a velocidade do motor será a velocidade nominal, podendo ser calculada pela seguinte equação:

$$n = \frac{120 \times f \times (1 - s)}{p}$$

onde:
n = velocidade em rotações por minuto (rpm)
f = freqüência da rede em Hertz (Hz)
s = escorregamento
p = número de pólos

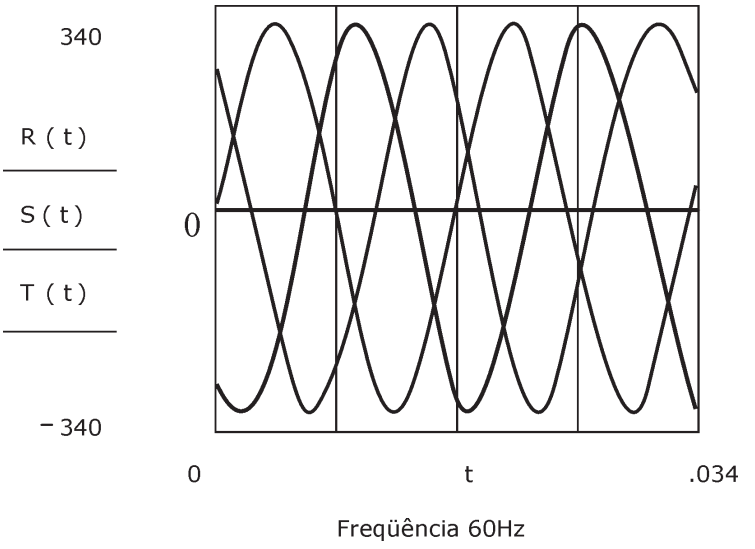


Figura 4.1

Se considerarmos como exemplo um motor de 4 pólos, com escorregamento nominal (s = 0,0278) teremos:

$$n = \frac{120 \times 60 (1 - s)}{4} = 1750 \text{ rpm}$$

A partir da simples observação da equação anterior podemos deduzir que se pudéssemos dispor de um dispositivo que permita variar a freqüência da tensão de alimentação poderíamos variar diretamente no motor a sua velocidade de rotação.

Vamos ver agora o que acontece se alimentarmos o motor a partir de um dispositivo que permita variar a freqüência da tensão de alimentação. A seguir mostraremos dois casos, um abaixo da freqüência nominal e outro acima.

$$n = \frac{120 \times 30\ (1 - s)}{4} = 875 \text{ rpm}$$

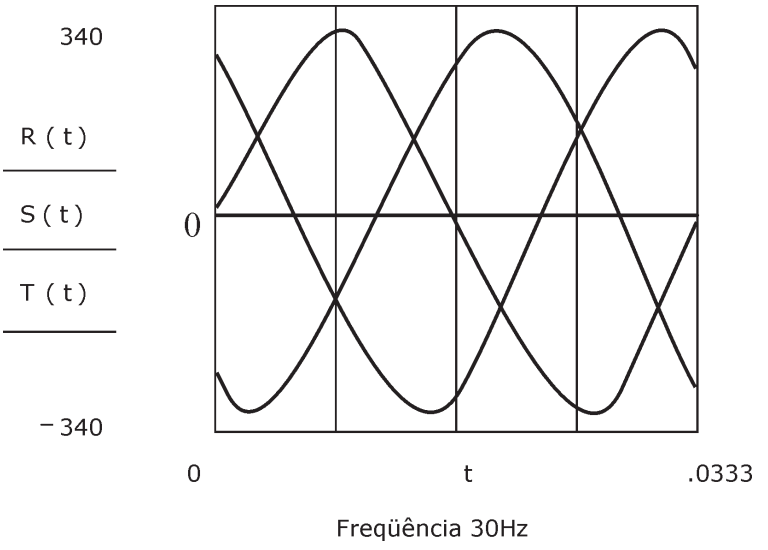


Figura 4.2

$$n = \frac{120 \times 90\ (1 - s)}{4} = 2625 \text{ rpm}$$

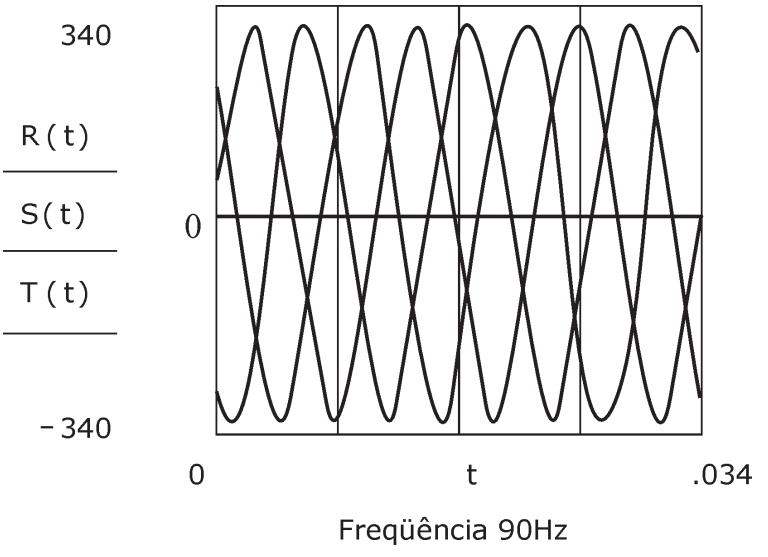


Figura 4.3

Vamos ver agora como podemos através de um dispositivo eletrônico, e a partir da tensão e freqüência constante da rede, obter um sistema trifásico com freqüência variável. As figuras 4.1 a 4.3 acima mostram para um mesmo período de tempo exemplos de ondas senoidais trifásicas com diferentes valores de freqüência.

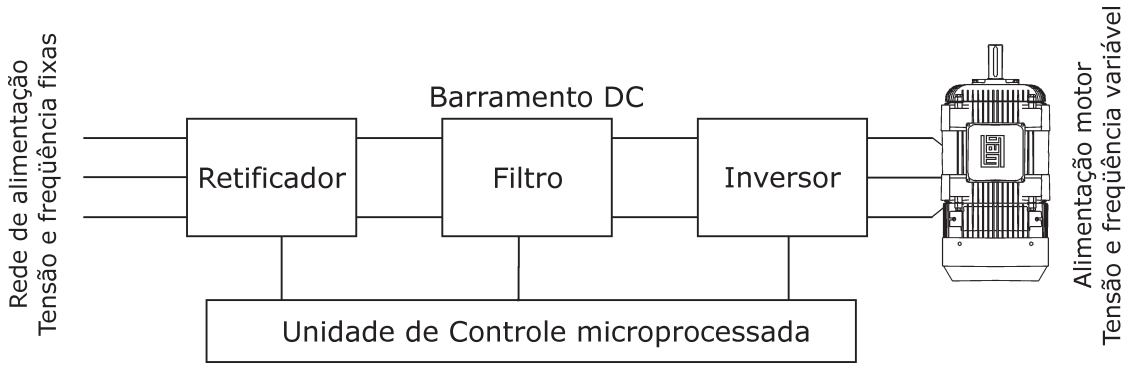


Figura 4.4

O diagrama de blocos da figura 4.4 mostra as partes componentes deste dispositivo.

O retificador da figura 4.4 gera uma tensão contínua que é posteriormente filtrada e introduzida no bloco seguinte, chamado de Inversor.

O inversor é composto de seis chaves implementadas numa configuração como mostrada na figura 4.5.

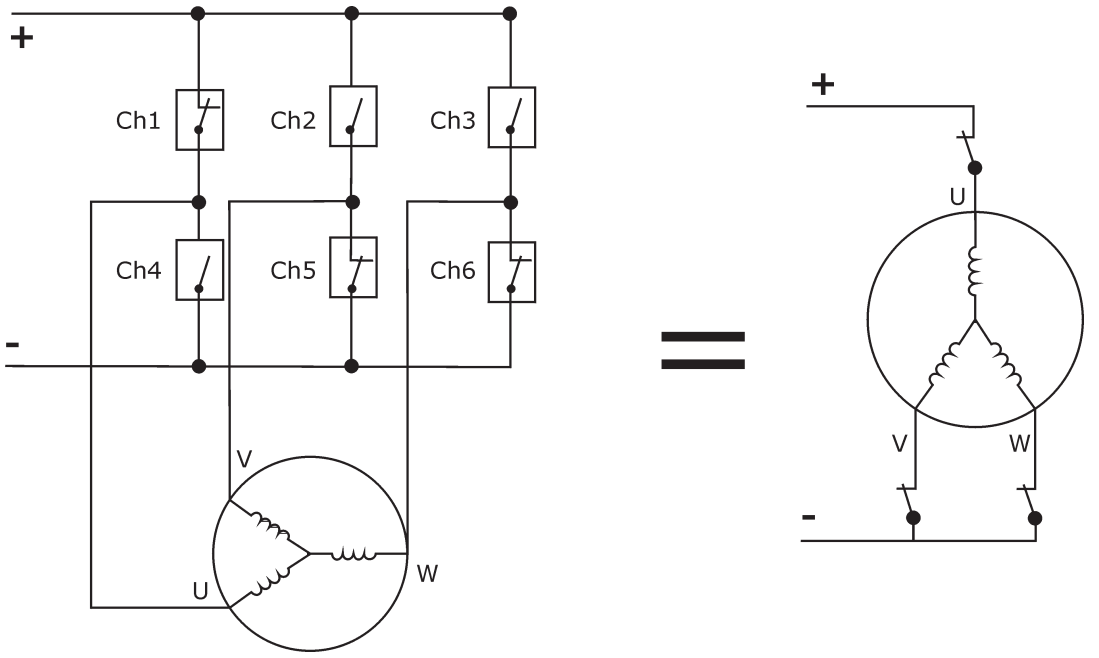


Figura 4.5

Dependendo da combinação de chaves abertas ou fechadas pode se obter na saída do inversor formas de onda diferentes. Estas chaves são implementadas nos inversores de freqüência com dispositivos semicondutores chamados de transistores de potência. Existem várias tecnologias de fabricação para este tipo de transistores. Os transistores mais freqüentemente utilizados são os chamados:

IGBT - Transistor Bipolar com Porta Isolada *(Insulated Gate Bipolar Transistor)*

A figura 4.6 a seguir mostra um exemplo simples de como pode ser gerada uma primeira aproximação de uma onda senoidal. A linha cheia representa a onda gerada pela combinação de seis estados das chaves 1..6.

A onda senoidal representada com linha tracejada serve como referência para o leitor identificar a aproximação mencionada.

Durante o primeiro estado as chaves 1, 5 e 6 estão fechadas e as chaves 2, 3 e 4 abertas. Assim no motor a tensão entre as fases U e V é positiva, entre as fases V e W é zero e entre as fases U e W é positiva, como representado na forma de onda. Nos cinco estados seguintes muda a combinação de chaves abertas e fechadas permanecendo o mesmo tipo de análise do primeiro estado.

Pode se deduzir também a partir da figura 4.6 que variando o tempo que cada combinação de chaves permanece num determinado estado, podemos variar a freqüência da onda de saída.

Os inversores de freqüência modernos utilizam para a combinação de abertura e fechamento das chaves uma estratégia chamada de "PWM" (Pulse Width Modulation) ou "Modulação por Largura de Pulsos". Esta estratégia permite a geração de ondas senoidais de freqüência variável com resolução de até 0,01Hz.

OBSERVAÇÃO
Os números correspondem as chaves fechadas.

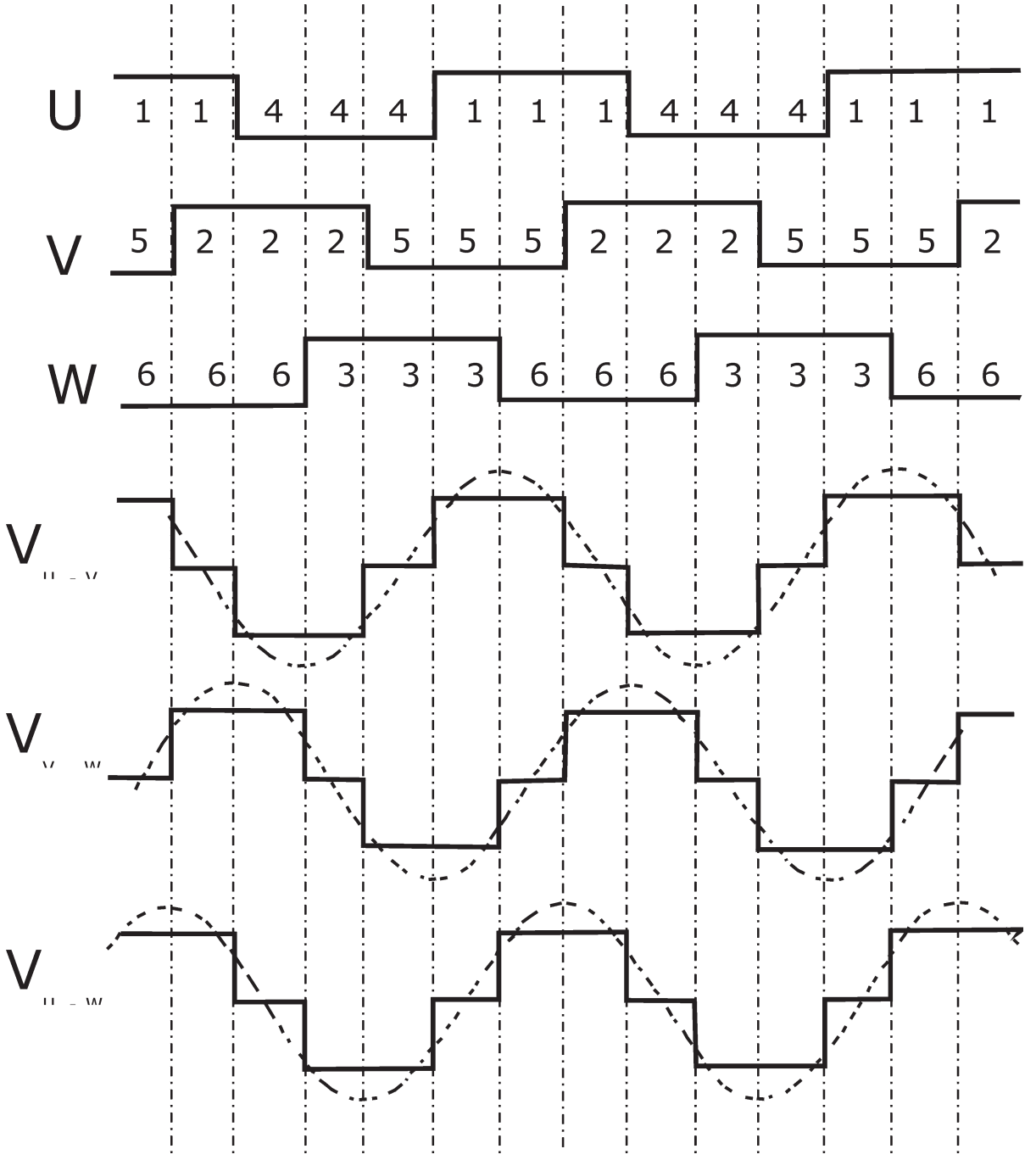


Figura 4.6

A figura 4.7 mostra o padrão de chaveamento da tensão e a corrente resultante numa fase do motor, quando utilizada a técnica PWM para comando dos transistores de potência.

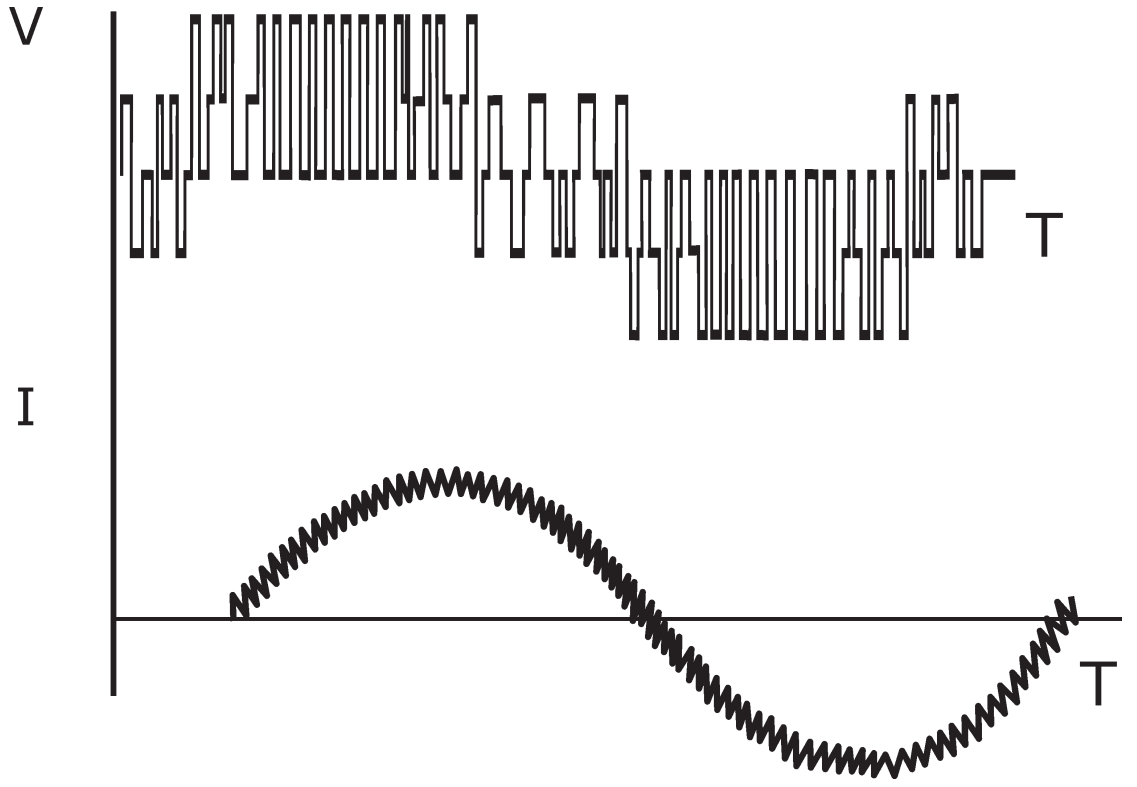


Figura 4.7

4.1 MÉTODOS DE CONTROLE DOS INVERSORES DE FREQUÊNCIA

• CONTROLE ESCALAR

O funcionamento dos inversores de freqüência com controle escalar está baseado numa estratégia de comando chamada "V/F constante", que mantém o torque do motor constante, igual ao nominal, para qualquer velocidade de funcionamento do motor.

O estator do motor de indução possui um bobinado trifásico como mostrado na figura 2.4. Este bobinado tem dois parâmetros que definem suas características. Um deles é a sua resistência ôhmica R [Ohm] e o outro e a sua indutância L [Henry].

A resistência depende do tipo de material (cobre) e do comprimento do fio com qual é realizado o bobinado. Já a indutância depende fundamentalmente da geometria (forma) do bobinado e da interação com o rotor.

Fazendo uma análise muito simplificada podemos dizer que a corrente que circulará pelo estator do motor será proporcional ao valor da resistência "R" e ao valor da reatância Indutiva "X_L" que é dependente da indutância L e da freqüência f. Assim:

$$X_L = 2.\pi.f.L$$

e

$$I = V / (R^2 + X_L^2)^{1/2}$$

Para valores de freqüência acima de 30Hz o valor da resistência é muito pequeno quando comparado com o valor da reatância indutiva; desta maneira podemos, nesta aproximação, e para um método de controle simples como o escalar, desprezá-lo. Assim teremos que o valor da corrente será proporcional à tensão de alimentação V, à indutância L e à freqüência f. O valor de indutância L é uma constante do motor, mas a tensão e a freqüência são dois parâmetros que podem ser "controlados" pelo inversor de freqüência. Assim, se para variar a velocidade do motor de indução temos que variar a freqüência da tensão de alimentação, a estratégia de controle "V/F constante" varia a tensão proporcionalmente com a variação da freqüência de alimentação (e da reatância indutiva) do motor para obter no estator uma corrente constante da ordem da corrente nominal do motor, como mostra a equação e a figura 4.8.

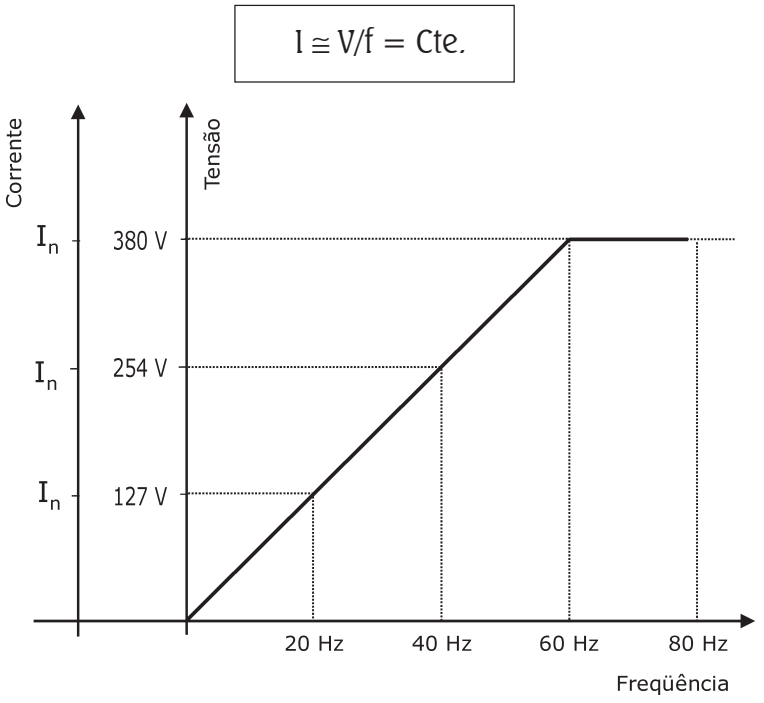


Figura 4.8

Como se pode observar na figura 4.8, acima de 60Hz a tensão não pode continuar subindo, pois já foi atingida a tensão máxima (tensão da rede), É assim que a partir deste ponto a corrente, e conseqüentemente o torque do motor, diminuirão. Esta região (acima dos 60Hz no exemplo) é conhecida como ***região de enfraquecimento de campo***. A figura 4.9 a seguir mostra o gráfico do torque em função da freqüência onde fica em evidência este comportamento.

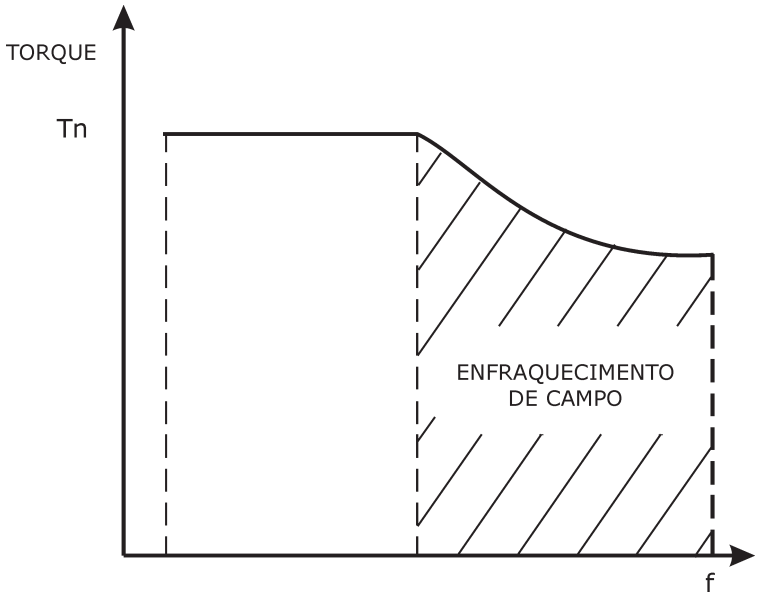


Figura 4.9

Para freqüências abaixo de 30Hz o termo correspondente a resistência R do estator, que foi desprezado anteriormente, começa a ter influência no cálculo da corrente. É assim que, de para baixas freqüências, mantendo-se a proporcionalidade entre a freqüência e a tensão, a corrente e conseqüentemente o torque do motor diminuem bastante. Para que isto seja evitado, a tensão do estator em baixas freqüências deve ser aumentada, através de um método chamado de ***compensação I x R***, conforme figura 4.10 a seguir.

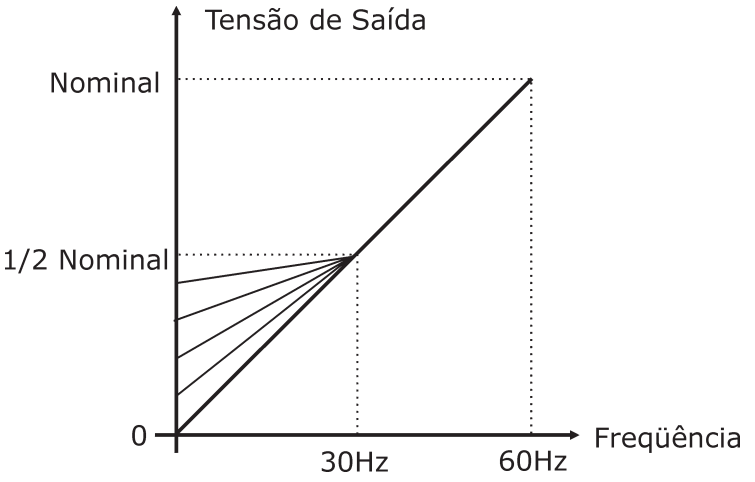


Figura 4.10

Podemos deduzir assim que o controle escalar em inversores de freqüência é utilizado em aplicações normais que não requerem elevada dinâmica (grandes acelerações e frenagens), nem elevada precisão e nem controle de torque. Um inversor com controle escalar pode controlar a velocidade de rotação do motor com uma precisão de até 0,5 % da rotação nominal para sistemas sem variação de carga, e de 3 % a 5 % com variação de carga de 0 a 100 % do torque nominal. Pelo princípio de funcionamento e aplicação, são utilizados na maioria das vezes motores de indução convencionais sem nenhum sistema de realimentação de velocidade (tacogerador de pulsos acoplado ao motor) em malha fechada. A faixa de variação de velocidade é pequena e da ordem de 1:10 (Ex: 6 a 60Hz).

Com estas características, o inversor de freqüência escalar é a mais utilizado em sistemas que não requerem alto desempenho. Este apresenta também um custo relativo menor quando comparado com

outros tipos de inversores mais sofisticados, como por exemplo o inversor com controle vetorial.

Veremos na continuação uma descrição dos inversores com controle vetorial.

• CONTROLE VETORIAL

Em aplicações onde se faz necessária uma alta performance dinâmica, respostas rápidas e alta precisão de regulação de velocidade, o motor elétrico deverá fornecer essencialmente um controle preciso de torque para uma faixa extensa de condições de operação. Para tais aplicações os acionamentos de corrente contínua sempre representaram uma solução ideal, pois a proporcionalidade da corrente de armadura, do fluxo e do torque num motor de corrente contínua proporcionam um meio direto para o seu controle.

Contudo, a busca por avanços tecnológicos significativos tem diminuído esta hegemonia e, gradativamente, estão aparecendo opções de novas alternativas, como o uso de acionamentos em corrente alternada do tipo controle vetorial.

Vantagens do Inversor com Controle Vetorial

- Elevada precisão de regulação de velocidade;
- Alta performance dinâmica;
- Controle de torque linear para aplicações de posição ou de tração;
- Operação suave em baixa velocidade e sem oscilações de torque, mesmo com variação de carga.

No motor de indução a corrente do estator é responsável por gerar o fluxo de magnetização e o fluxo de torque, não permitindo obter um controle direto do torque. Basicamente, o circuito de potência do inversor de freqüência vetorial não é diferente de um inversor de freqüência v/f, sendo composto dos mesmos blocos funcionais. No inversor v/f a referência de velocidade é usada como sinal para gerar os parâmetros tensão/freqüência variável e disparar os transistores de potência. Já o inversor vetorial calcula a corrente necessária para produzir o torque requerido pela máquina, calculando a corrente do estator e a corrente de magnetização.

A palavra "vetorial" está sendo nos últimos tempos muito utilizada para dar nome aos novos inversores,

algumas vezes de maneira não muito apropriada. Vamos tentar esclarecer um pouco estes conceitos. Um vetor é uma representação matemática de um grandeza física que possui magnitude e direção, um exemplo típico é a representação vetorial de uma força ou uma corrente elétrica.
Os inversores vetoriais recebem este nome devido a que:

1. A corrente que circula no bobinado estatórico de um motor de indução pode ser separada em duas componentes:
   Id, ou corrente de magnetização (produtora de FLUXO)
   e
   Iq ou o corrente produtora de TORQUE

2. A corrente total é a **soma vetorial** destas duas componentes

3. O torque produzido no motor é proporcional ao **"produto vetorial"** das duas componentes

4. A qualidade com a qual estas componentes são identificadas e controladas define o nível de desempenho do inversor.

Para calcular estas correntes é necessário resolver em "tempo real" uma equação que representa matematicamente o comportamento do motor de indução (modelo matemático do motor). Tempo real significa que este cálculo tem que ser feito muitas vezes por segundo, tantas vezes quanto necessário para poder controlar o motor. É por isto que este tipo de controle requer microprocessadores muito potentes que realizam milhares de operações matemáticas por segundo.

Para resolver esta equação é necessário conhecer ou calcular os seguinte parâmetros do motor:

⇨ Resistência do estator

⇨ Resistência do rotor

⇨ Indutância do estator

⇨ Indutância do rotor

⇨ Indutância de magnetização

⇨ Curva de saturação

Muitos inversores vem com estes valores pré-programados para diferentes motores, outros mais sofisticados utilizam rotinas de autoajuste para calcular estes parâmetros, característica muito útil quando utilizados motores rebobinados ou já existentes.

O controle vetorial representa, sem dúvida, um avanço tecnológico significativo, aliando as performances dinâmicas de um acionamento CC e as vantagens de um motor CA. Porém, em alguns sistemas que utilizam controle vetorial é necessário o uso de um encoder (tacogerador de pulsos) acoplado ao motor para que se tenha uma melhor dinâmica, o que torna o motor especial. Sendo assim podemos dizer que existem dois tipos de implementação de inversores vetoriais: o inversor "sensorless" (sem sensores) e o inversor com realimentação por encoder (controle orientado pelo campo).

O inversor com realimentação por encoder é capaz de controlar a velocidade e o torque no motor, pois calcula as duas componentes da corrente do motor. Este tipo de inversores conseguem excelentes características de regulação e resposta dinâmica, como por exemplo:

⇨ Regulação de velocidade: 0,01%

⇨ Regulação de torque: 5%

⇨ Faixa de variação de velocidade: 1:1000

⇨ Torque de partida: 200% máx.

⇨ Torque máximo (não contínuo): 200%

O inversor "sensorless" tem um grau de desempenho menor que o anterior, mas é superior ao inversor v/f . A seguir alguns valores típicos para estes inversores:

⇨ Regulação de velocidade: 0,3%

⇨ Regulação de torque: 5% *

⇨ Faixa de variação de velocidade: 1:100

⇨ Torque de partida: 150%

⇨ Torque máximo (não contínuo): 150%

* A regulação de torque somente é possível para rotações acima de uma determinada freqüência estatórica, tipicamente 3Hz.

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES DE INDUÇÃO ACIONADOS COM INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

Como já vimos na seção anterior, a curva característica "corrente x velocidade" e "torque x velocidade" do motor de indução mostra que a partir do valor de torque equivalente a 150% do nominal (área de trabalho intermitente) as duas curvas apresentam o mesmo comportamento. Isto significa que torque e velocidade tem um comportamento linear com a corrente.

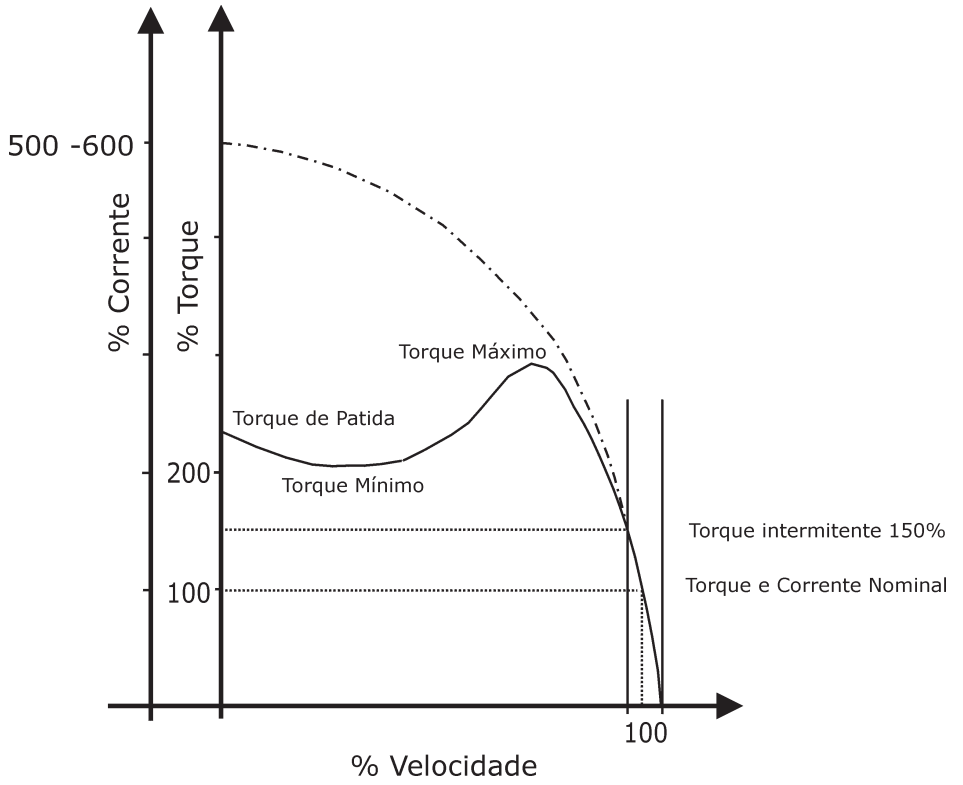


Figura 4.11

Os inversores de freqüência trabalham exclusivamente nesta região.

Vejamos agora o comportamento da curva "torque x velocidade" quando o motor é alimentado através do inversor de freqüência. A figura 4.12 mostra um conjunto de curvas para diferentes velocidades (freqüências) de operação. A 60Hz temos exatamente o caso da figura 4.11, que coincide com a resposta de um motor acionado diretamente da rede.

O motor do exemplo é um motor de quatro pólos, assim sua velocidade síncrona será de 1800 rpm e a velocidade do eixo, com carga nominal, será 1750 rpm. Podemos ver assim que, com o motor com carga nominal, existe uma diferença de 50 rpm entre a velocidade síncrona calculada e a velocidade de rotação do motor, devida ao escorregamento.

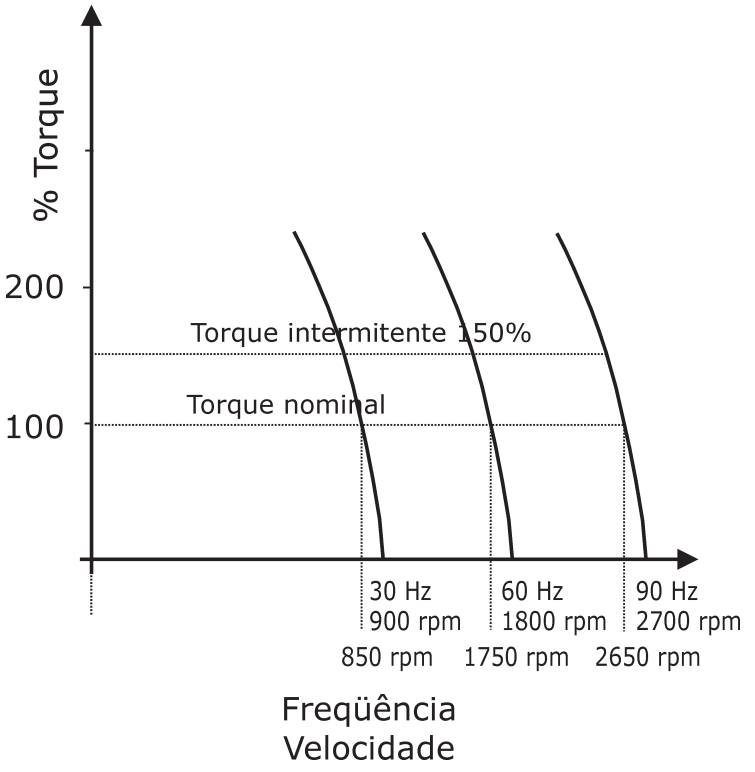


Figura 4.12

Observando novamente a figura 4.9 vemos que para uma freqüência de alimentação de 30Hz a velocidade síncrona será de 900 rpm, novamente para torque nominal o escorregamento será o nominal equivalente a 50 rpm, e a velocidade do motor será de 850 rpm.

É interessante observar que diminuindo a freqüência pela metade a velocidade síncrona também cai a metade, mas a velocidade do motor não, pois sempre tem uma diferença constante equivalente ao escorregamento.

Outra característica importante do acionamento de motores com inversores de freqüência é que a corrente de partida é praticamente da ordem da corrente nominal, e que alimentando o motor a partir de 3 ou 4Hz podemos obter no rotor um torque de 150 % do nominal, suficiente para acionar qualquer carga acoplada ao motor.

5

PARÂMETROS DO INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

5.1 Parâmetros de leitura

5.2 Parâmetros de regulação

- Rampas de aceleração/desaceleração
- Curva U/F ajustável

5.3 Parâmetros de configuração

- Frenagem
- Rampa de aceleração e frenagem reostática
- Rejeição de freqüências críticas
- Partida com motor girando (flying start)
- Compensação do escorregamento

5.4 Parâmetros do motor

5.5. Parâmetros das funções especiais

- Ciclo automático
- Controle de processos com inversores de freqüência

5 PARÂMETROS DO INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

Um parâmetro do inversor de freqüência é um valor de leitura ou escrita, através do qual o usuário pode ler ou programar valores que mostrem, sintonizem ou adeqüem o comportamento do inversor e motor em uma determinada aplicação. Exemplos simples de parâmetros:

- Parâmetro de Leitura P003: Corrente consumida pelo motor
- Parâmetro Programável P121: Velocidade de giro do motor, quando comandado pelo teclado (referência de velocidade, valor de freqüência) .

Quase todos os inversores disponíveis no mercado possuem parâmetros programáveis similares. Estes parâmetros são acessíveis através de uma interface composta por um mostrador digital ("display") e um teclado, chamado de Interface Homem-Máquina (IHM), ver figura 5.1.

Figura 5.1. Interface Homem-Máquina (IHM)

5 PARÂMETROS DO INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

Para facilitar a descrição, os parâmetros serão agrupados pelas suas características:

- Parâmetros de leitura
- Parâmetros de regulação
- Parâmetros de configuração
- Parâmetros do motor
- Parâmetros das funções especiais

5.1 PARÂMETROS DE LEITURA

Os parâmetros de leitura, como seu nome indica, permitem visualizar os valores programados nos parâmetros de regulação, de configuração, do motor e das funções especiais. Por exemplo, na linha de inversores WEG são identificados do P001 até o P099. Estes parâmetros não permitem a edição do valor programado; somente a sua leitura.

EXEMPLOS:

P001 - Referência de Velocidade
Valor da referência de velocidade antes da rampa.
Independe da fonte de origem da referência.
Indicação em rpm.

P002 - Velocidade do Motor
Indica o valor da velocidade real, em rpm.

P003 - Corrente do motor
Indica a corrente de saída do inversor em ampères.

P004 - Tensão do circuito intermediário
Indica a tensão atual no circuito intermediário de corrente contínua, em Volts.

P005 - Freqüência aplicada ao motor
Valor da freqüência de saída do inversor, em Hz.

P006 - Estado do inversor
Indica o estado atual do inversor.
As sinalizações disponíveis são: Ready, Run, Subtensão e E00, ... E11

P009 - Torque no Motor
Indica a parcela da Corrente Total que é proporcional ao torque, em %.

5.2 PARÂMETROS DE REGULAÇÃO

São os valores ajustáveis a serem utilizados pelas funções do inversor.

EXEMPLOS:

P100 - Tempo de aceleração e **P101** - Tempo de desaceleração
Definem os tempos para acelerar linearmente de 0 até a velocidade máxima ou desacelerar linearmente da velocidade máxima até 0. A velocidade máxima é definida pelo parâmetro **P134**.

P133 - Referência mínima e **P134** - Referência máxima
Define os valores máximo/mínimo de velocidade na saída quando o inversor é habilitado.

RAMPAS DE ACELERAÇÃO/ DESACELERAÇÃO

As rampas permitem ao usuário do inversor modificar a velocidade de rotação do motor de forma controlada. Especificando o valor de tempo e velocidade final podemos assim controlar a aceleração e desaceleração do motor. Os inversores possuem normalmente dois tipos de rampas:

Rampa linear
A rampa linear é a mais simples, e indicada para cargas com pouca inércia.

Na transição da velocidade zero para a rampa e da rampa para a velocidade final, o sistema acoplado ao motor recebe um impulso chamado de "jerk". Este impulso produz vibrações no equipamento acoplado ao motor.

Rampa em "S"
A rampa "S" é um recurso no qual se permite obter a aceleração/desaceleração de cargas onde se necessita de uma partida/parada de forma suave, não

ocorrendo choques mecânicos no sistema. A rampa "S" pode ser ajustada em função da aplicação através do software do inversor (parâmetros de programação), onde se define os tempos de aceleração e desaceleração e também o percentual de distorção "S" da curva, conforme descrito na figura a seguir:

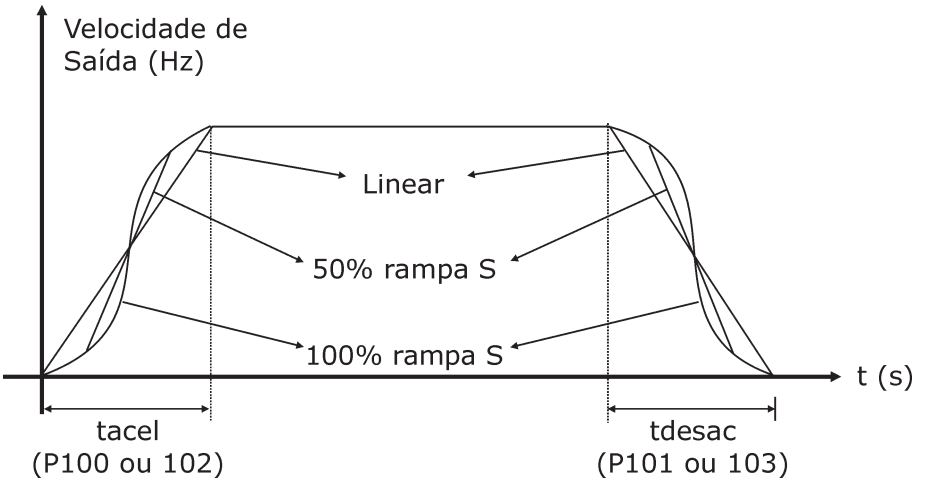


Figura 5.2 - Aceleração e desaceleração por rampa "S"

Multi-Speed

Esta função permite a variação da freqüência de saída do inversor através de combinações das entradas digitais, as quais podem ser comandadas através de: chaves seletoras, contatores, CLP's, chaves fim-de-curso, etc. Seu uso é recomendado quando utiliza-se duas ou mais velocidades fixas (pré-ajustadas), pois traz as seguintes vantagens:

- imunidade a ruído elétrico
- simplificação de comandos e ajustes

EXEMPLO:

P124 - Ref. 1 Multispeed _____ 90 rpm
P125 - Ref. 2 Multispeed _____ 300 rpm
P126 - Ref. 3 Multispeed _____ 600 rpm
P127 - Ref. 4 Multispeed _____ 900 rpm
P128 - Ref. 5 Multispeed _____ 1200 rpm
P129 - Ref. 6 Multispeed _____ 1500 rpm
P130 - Ref. 7 Multispeed _____ 1800 rpm
P131 - Ref. 8 Multispeed _____ 1650 rpm

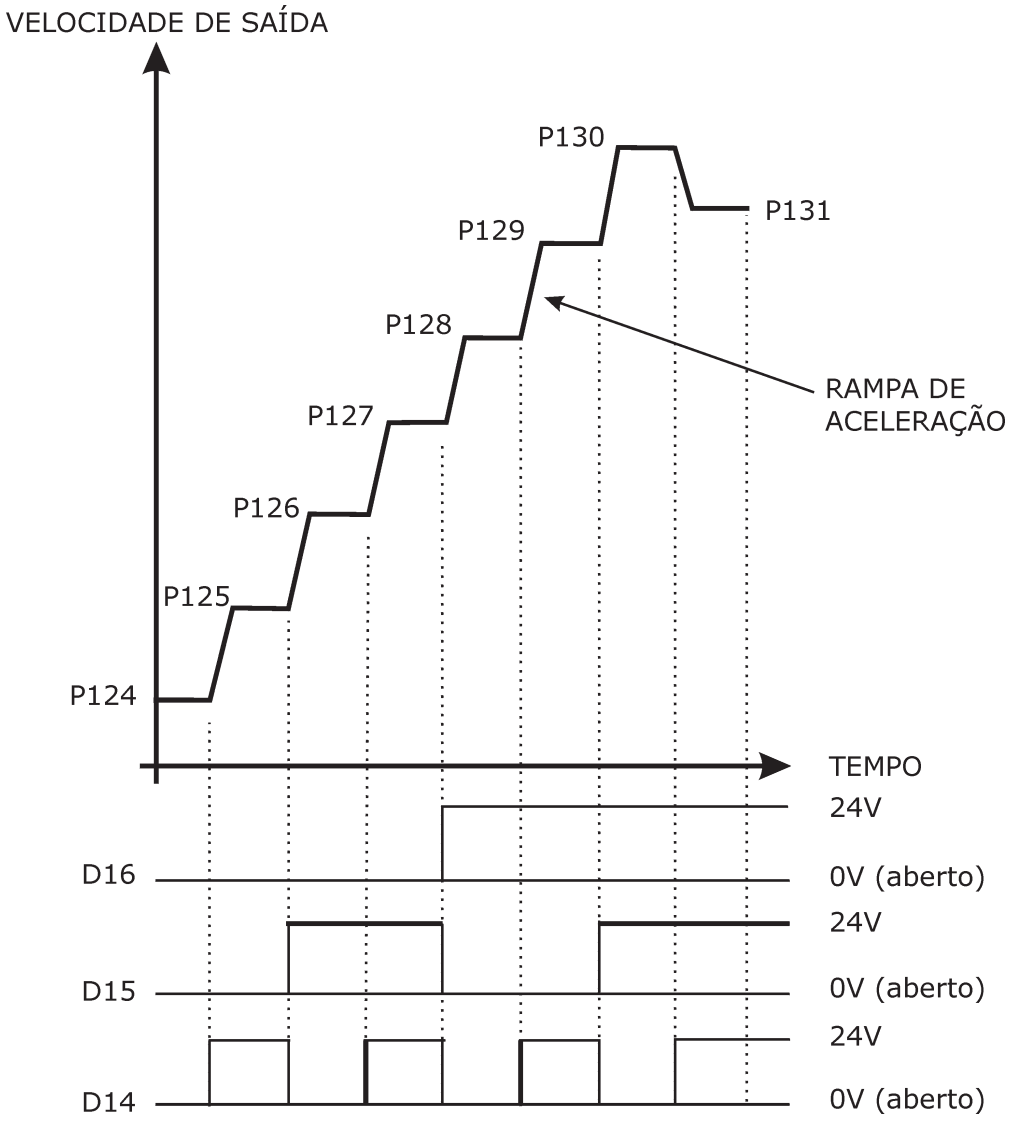


Figura 5.3

CURVA U/F AJUSTÁVEL

Esta função permite a alteração das curvas características padrões definidas, que relacionam a tensão e a freqüência de saída do inversor e conseqüentemente o fluxo de magnetização do motor, a fim de adequar a uma necessidade específica.

Esta característica pode ser utilizada em aplicações especiais nas quais os motores utilizados necessitam de tensão nominal ou freqüência nominal diferentes dos padrões. O ajuste da relação entre a tensão e a freqüência é feito através do software do inversor (parâmetros de programação), onde se define a inclinação de uma reta (conforme ilustrado na figura a seguir) através de três pares (U, f) de pontos distintos que são: Ponto mínimo, ponto médio e ponto máximo.

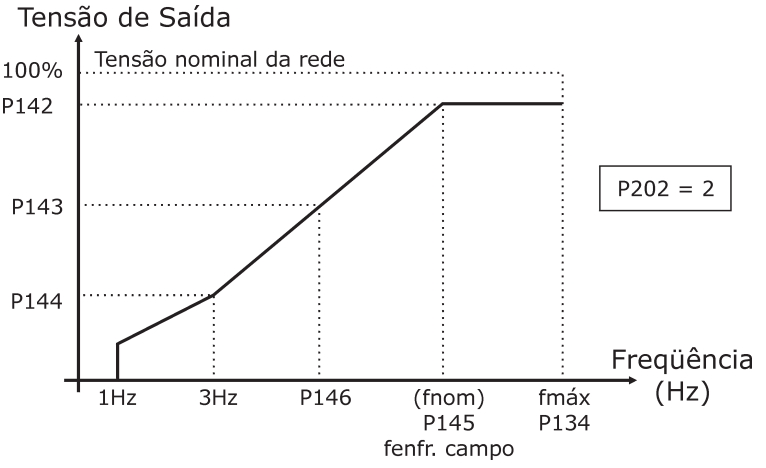


Figura 5.4 - Curva U/f ajustável

Esta característica é necessária, pois nestes casos o fluxo de magnetização do motor é diferente dos motores padrões, o que pode acarretar picos de corrente ou operação com corrente acima da nominal do motor, que podem ocasionar a sua destruição ou bloqueio do inversor.

5.3 PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO

Definem as características do inversor, as funções a serem executadas, bem como as funções das entradas e saídas.

FRENAGEM

Quando o motor de indução está sendo empregado em processos que exigem paradas rápidas, o tempo de desaceleração é muito pequeno e deve ser empregado o recurso de frenagem elétrica ou mecânica.

Durante a frenagem a freqüência do rotor é maior que a freqüência do estator, provocando um fluxo reverso da energia do rotor para o estator. O motor passa a funcionar então como um gerador, injetando esta

energia no barramento DC do inversor, o que provoca uma sobretensão neste.

A frenagem elétrica pode ser feita através de um dos procedimentos abaixo, ou uma combinação deles:

1. **Injeção de corrente contínua**
   Permite a parada do motor através da aplicação de corrente contínua no mesmo. A magnitude da corrente contínua, que define o torque de frenagem, e o período durante o qual ela é aplicada, são parâmetros que podem ser especificados pelo usuário. Este modo é geralmente usado com cargas de baixa inércia, e pode causar um aquecimento excessivo do motor quando os ciclos de parada são muito repetitivos.
2. **Rampa de desaceleração**
   A freqüência diminui até zero, conforme o tempo de desaceleração especificado pelo usuário, podendo ser empregado quando os requisitos de parada não são muito rígidos.
3. **Frenagem reostática**
   É usada para dissipar a energia que retorna do motor através de um banco de resistores, durante a rápida frenagem do motor, evitando a sobretensão no barramento DC do driver.

Geralmente se utiliza a frenagem reostática para baixar a velocidade até um determinado valor, a partir do qual se aplica corrente contínua no motor, conseguindo uma frenagem rápida e preservando o inversor.

A frenagem mecânica consiste em comandar, através de um relé, um sistema capaz de segurar o eixo do rotor. Normalmente estes sistemas tem um tempo de atraso elevado, tanto para ligar como desligar o freio. Assim o usuário deve ter certeza que o rotor está liberado do freio antes de dar um comando para movê-lo, caso contrário o motor irá partir com uma condição de sobrecarga provocando uma sobrecorrente elevada.

Parâmetros associados: Duração da frenagem (P300); freqüência de início da frenagem (P301); tensão aplicada durante a frenagem (P302)

INJEÇÃO DE CORRENTE CONTÍNUA

Este tipo de frenagem do motor é conseguida aplicando-se no seu estator uma tensão contínua. Esta é obtida pelo disparo dos transistores do inversor, não necessitando nenhum dispositivo adicional. Este tipo de frenagem é útil quando se deseja a parada do motor (freio) apenas, diferentemente da frenagem reostática que pode ser utilizada para reduzir a velocidade, mas mantendo-se o motor girando.
O torque de frenagem pode ser ajustado de acordo com a aplicação, através do tempo de injeção de corrente contínua e do nível de tensão CC aplicada no motor. Durante a frenagem CC, é necessário um intervalo para a desmagnetização do motor (Tempo Morto), para não haver um pico de corrente no inversor, que poderá atuar a proteção e bloquear o mesmo.

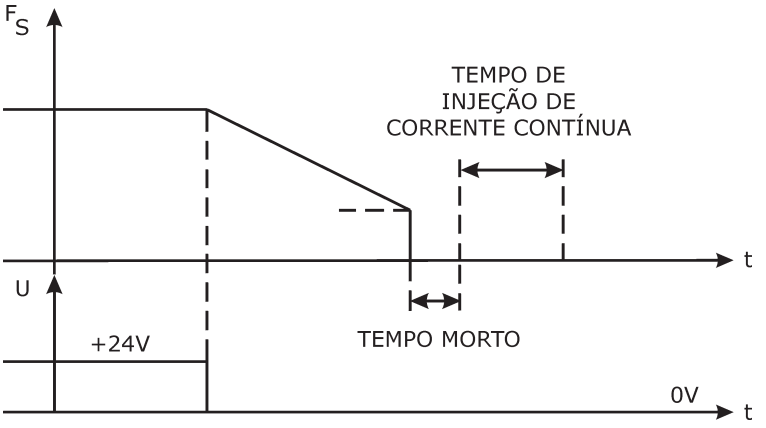


Figura 5.5 - Frenagem CC com bloqueio por rampa de desaceleração

RAMPA DE DESACELERAÇÃO E FRENAGEM REOSTÁTICA

É possível uma frenagem controlada através de uma rampa de desaceleração quando a freqüência aplicada ao motor é reduzida de uma forma controlada, necessitando-se para isso de um inversor de freqüência, sendo que dessa forma o motor se comporta como um gerador assíncrono e fornece um torque de frenagem. Em outras palavras, quando o escorregamento torna-se negativo, isto é, quando a velocidade síncrona (ou freqüência estatórica aplicada pelo inversor) torna-se menor do que a velocidade do motor (velocidade rotórica), o torque gerado pelo motor torna-se negativo e este é frenado. Neste estado o motor opera como gerador com a energia cinética (do motor e da carga) convertida em energia elétrica

que é transmitida ao circuito intermediário (CC), através da ponte de transistores, como energia que é consumida através de um módulo de frenagem reostática.

A potência da frenagem é função do tempo de desaceleração, da inércia das massas em movimento e do torque resistente. Uma parte da energia de frenagem é dissipada em perdas no motor, e o restante deverá ser dissipada de alguma forma.

Os inversores de freqüência apresentam a opção de utilização de módulos de frenagem reostática, que são bancos de resistores controlados eletronicamente e conectados ao circuito intermediário (CC) que permite se obter até um torque de frenagem próximo ao torque nominal do motor, assegurando a dissipação da energia de frenagem nestas resistências externas. A corrente máxima admissível na resistência de frenagem está relacionada aos seguintes fatores:

- Valor ôhmico da resistência de frenagem;
- Corrente de limitação do inversor associado;
- Corrente máxima do transistor de potência.

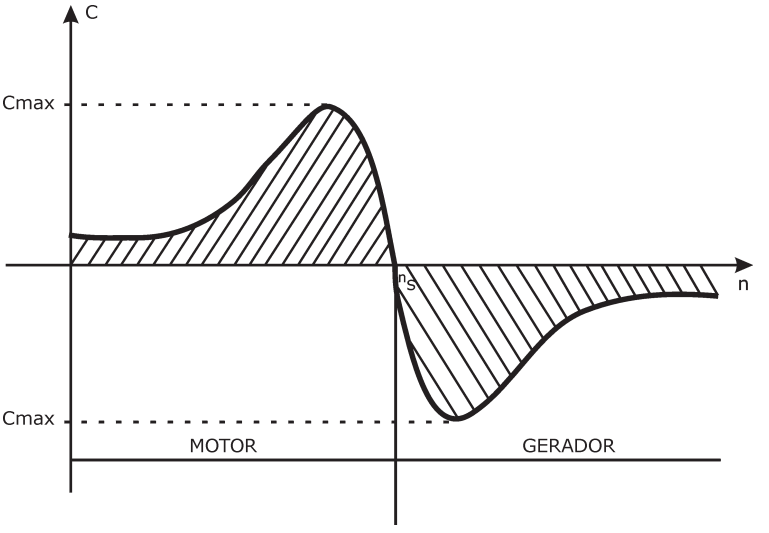


Figura 5.6 - Curva de torque x rotação da máquina assíncrona com motor e gerador

REJEIÇÃO DE FREQÜÊNCIAS CRÍTICAS

Este recurso se utiliza quando o sistema a ser acionado possui faixas de operação com rotações críticas e que não podem ser utilizadas. Como exemplo, problemas de ressonância mecânica em

ventiladores, que causam a vibração excessiva do mesmo, podem causar a destruição de rolamentos e eixos.

A rejeição de freqüências críticas é feita através do ajuste da freqüência central e de uma banda em torno desta freqüência a qual o inversor não permitirá acionar o motor, conforme mostra a figura 5.7.

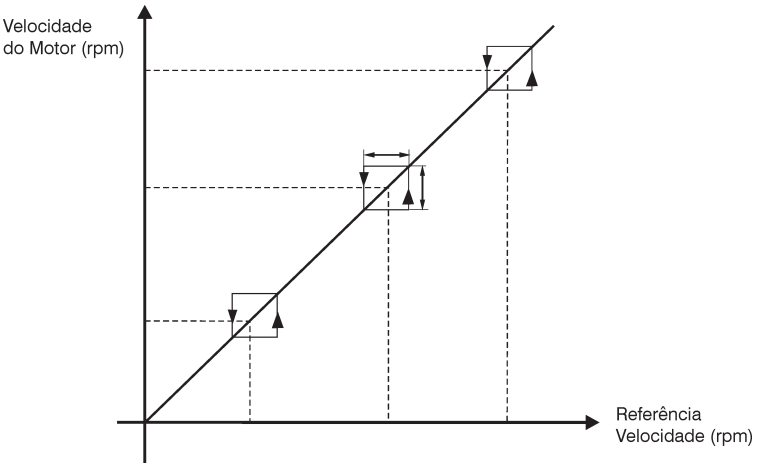


Figura 5.7 - Rejeição de freqüências críticas

Quando da aceleração ou desaceleração do motor, o inversor atua através das rampas ajustadas, passando pelas freqüências críticas, chegando aos valores desejados. Caso o valor ajustado seja uma freqüência crítica, o inversor irá operar na freqüência imediatamente acima ou abaixo do limite imposto.

PARTIDA COM MOTOR GIRANDO (“FLYING START”)

Este recurso se utiliza para quando é necessário o religamento do motor com o inversor de freqüência mesmo que o motor (ou máquina) ainda esteja em movimento. Para os inversores comuns sem este recurso, o religamento não é possível devido ao fato de que quando o motor ainda encontra-se girando, existe uma magnetização residual que faz com que seja gerada uma tensão nos seus terminais. Com o religamento do inversor, surgem então picos de corrente transitórias que faz com que a proteção contra curto-circuito do inversor atue, bloqueando-o.

Com o recurso de partida com motor girando, o inversor atua de forma a impor a freqüência de

referência instantaneamente, fazendo uma rampa de tensão num tempo especificado pelo usuário.

Caso exista uma realimentação de posição, através de encoder ou resolver, o driver pode calcular a velocidade atual do motor e iniciar seu comando nesta freqüência, utilizando as rampas de aceleração ou desaceleração para atingir a velocidade de referência, não sendo necessário especificar nenhum parâmetro auxiliar para o procedimento de "Flying Start".

Parâmetros associados: Tempo para que a tensão de saída varie de 0 Volts até a tensão de trabalho, proporcional a freqüência de referência (P311).

COMPENSAÇÃO DO ESCORREGAMENTO

Para que um motor de indução desenvolva torque é necessário que a velocidade do rotor seja inferior a velocidade do estator (Hz), sendo a diferença entre ambas denominada escorregamento. A quantidade de escorregamento é determinada diretamente pela condição de carga do motor, assim por exemplo o campo girante produzido no estator, de um motor de quatro pólos ligado à rede de 220 V/60 Hz, gira à velocidade de 1800 rpm, mas a velocidade do rotor será aproximadamente 1750 rpm a plena carga e 1795 rpm a vazio.

A compensação do escorregamento é empregada para manter a velocidade constante independente de mudanças na carga, atuando como um controle de velocidade em malha aberta. Assim, a freqüência de saída do inversor aumenta ou diminui conforme a corrente do motor varia em função do aumento ou diminuição da carga.

5.4 PARÂMETROS DO MOTOR

Define os parâmetros obtidos dos dados de placa.

EXEMPLOS

- **P400** - Tensão do motor
- **P401** - Corrente do motor
- **P402** - Rotação do motor
- **P403** - Freqüência do motor

5.5 PARÂMETROS DAS FUNÇÕES ESPECIAIS

Inclui os parâmetros relacionados com ciclo automático, regulador PID e regulador de velocidade.

CICLO AUTOMÁTICO

O ciclo automático é utilizado para acionar um motor em uma determinada seqüência de operação a ser repetida a cada liberação do inversor. Conforme demonstrado na figura a seguir, a freqüência de cada patamar, bem como a sua duração podem ser ajustadas (programadas) independentemente.

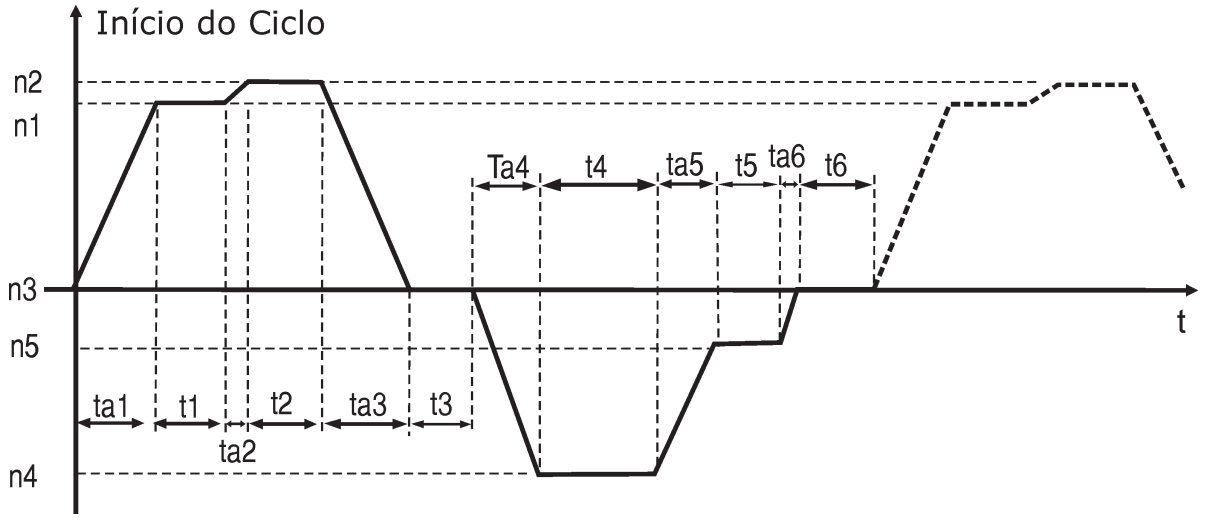


Figura 5.8

Esta função proporciona as seguintes vantagens dentro do processo:

- Não necessita de comando externo para troca de velocidades (operador ou dispositivo de comando temporizados);
- tempos de atuação precisos e mais estáveis e não apresentam influência externa (grande repetibilidade);
- imunidade a ruído elétrico;

- simplificação de comandos e ajustes;
- eliminação da manutenção de dispositivos de comandos externos;
- maior flexibilidade na programação do ciclo do processo.

CONTROLE DE PROCESSOS COM INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

Regulador PID (**P**roporcional – **I**ntegral – **D**erivativo)

Um regulador pode ser descrito como um sistema que lê do processo a variável que se deseja controlar e a compara com o valor de referência desejado, produzindo um sinal de saída que atuará sobre o processo no sentido de diminuir a diferença entre o valor lido e o desejado. O algoritmo de um regulador PID consegue obter erro nulo em regime.

Este regulador pode ser utilizado para controlar diversas variáveis do sistema, como vazão, nível, temperatura, ou pressão, superpondo seu sinal de controle ao controle normal de velocidade do inversor (U/F).

Exemplos de aplicação

Controle de vazão em uma tubulação, com realimentação da vazão e com o inversor acionando a motobomba que faz o fluido circular; controle de nível, controle de pressão; controle de temperatura, etc.

Parâmetros associados: Ganho proporcional; ganho integral; ganho diferencial; tipo de realimentação; referência; tipo de ação (reversa ou direta); número de pulsos por revolução (no caso de realimentação por encoder).

Como exemplo temos o controle de vazão:

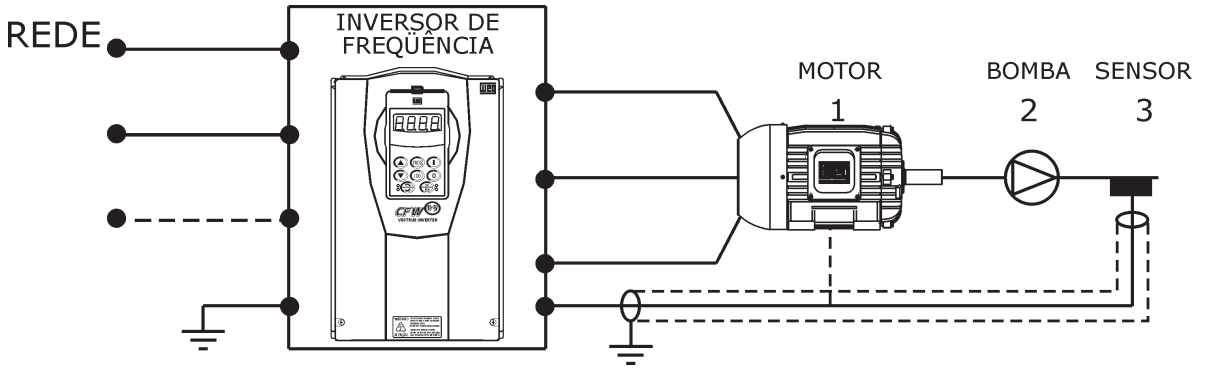
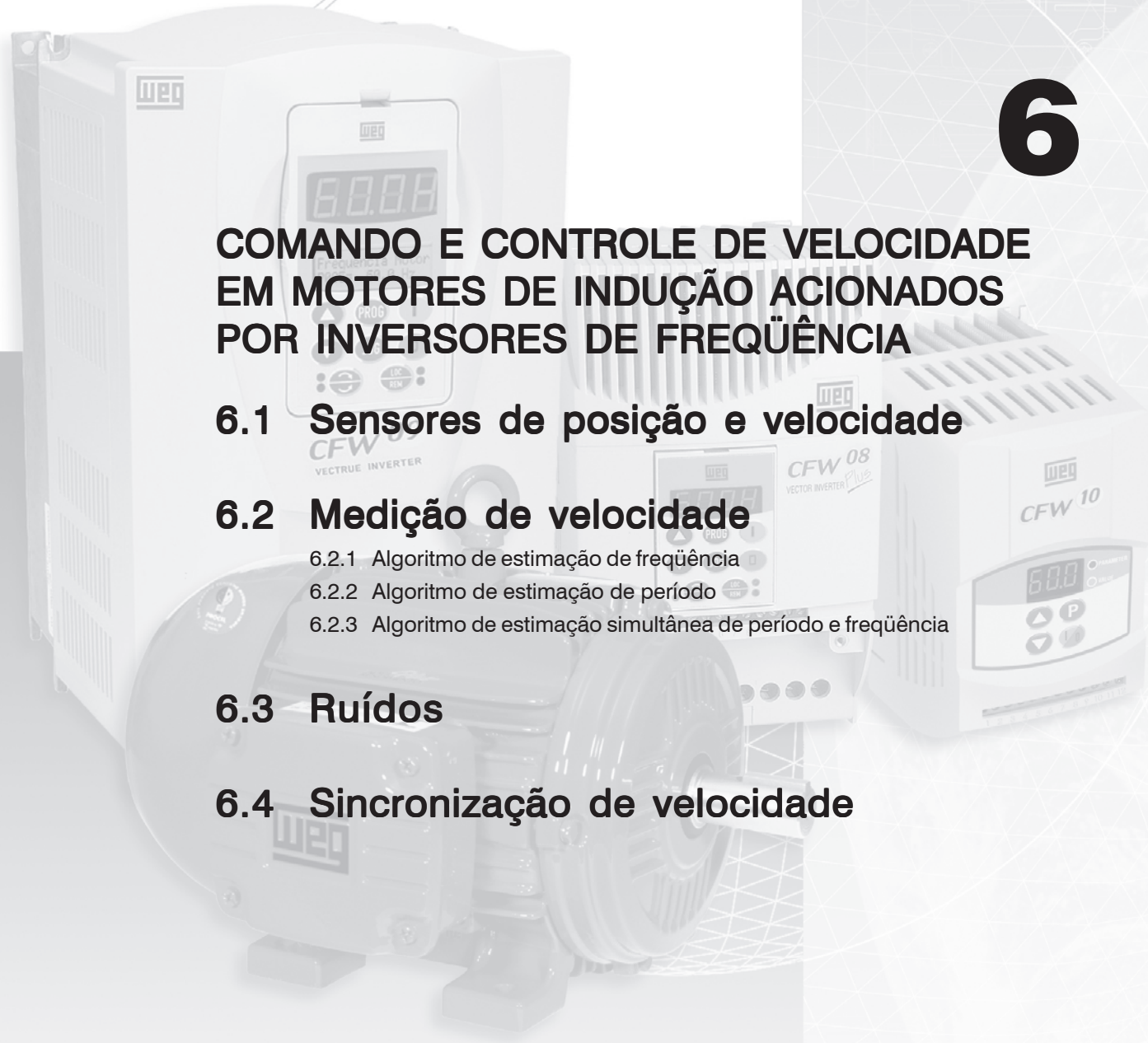


Figura 5.9 - Controle de vazão com inversor de freqüência



6

COMANDO E CONTROLE DE VELOCIDADE EM MOTORES DE INDUÇÃO ACIONADOS POR INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

6.1 Sensores de posição e velocidade

6.2 Medição de velocidade

6.2.1 Algoritmo de estimação de freqüência

6.2.2 Algoritmo de estimação de período

6.2.3 Algoritmo de estimação simultânea de período e freqüência

6.3 Ruídos

6.4 Sincronização de velocidade

6 COMANDO E CONTROLE DE VELOCIDADE EM MOTORES DE INDUÇÃO ACIONADOS POR INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

Comandar a velocidade de um motor acionado por um inversor de freqüência significa simplesmente programar ou colocar uma referência de velocidade numa entrada do inversor, sem ter informação real se essa velocidade programada está presente no eixo do motor. Em sistemas que não requerem muita precisão ou que são acoplados a cargas conhecidas e constantes, o comando de velocidade pode ser suficiente para atingir as especificações projetadas.

Mas em sistemas que requerem maior precisão no valor da velocidade do eixo do motor é necessário "controlar" o sistema.

Controlar o sistema significa colocar um sensor que indique o valor real da variável, por exemplo, a velocidade (acoplando um sensor ao eixo do motor), e realimentar este valor num regulador do inversor que atuará no sentido de diminuir a diferença entre o valor lido no sensor e o valor desejado (programado).

É assim que continuamente o sensor está informando ao inversor o valor real da variável, para este poder corrigir em forma dinâmica (em todo momento) o desvio do valor programado.

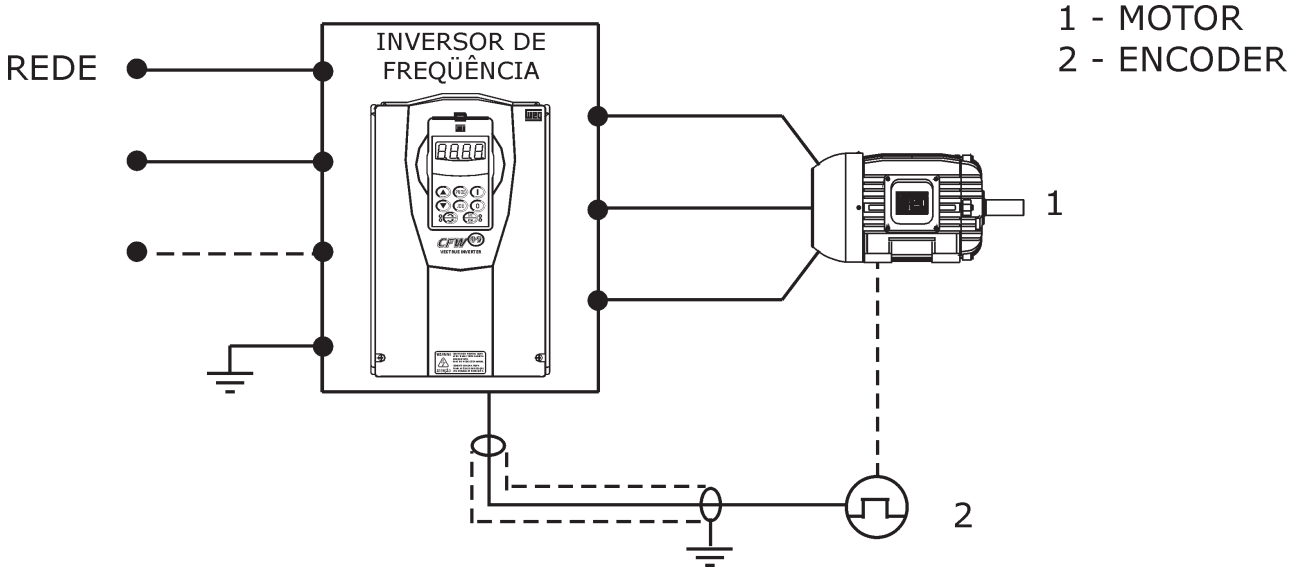


Figura 6.1

6.1 SENSORES DE POSIÇÃO E VELOCIDADE

Dada sua simplicidade e baixo preço os codificadores angulares ou tacogeradores de pulsos, chamados normalmente de "encoders", transformaram-se nos últimos anos, num dos dispositivos mais utilizados para medição de posição angular e velocidade.

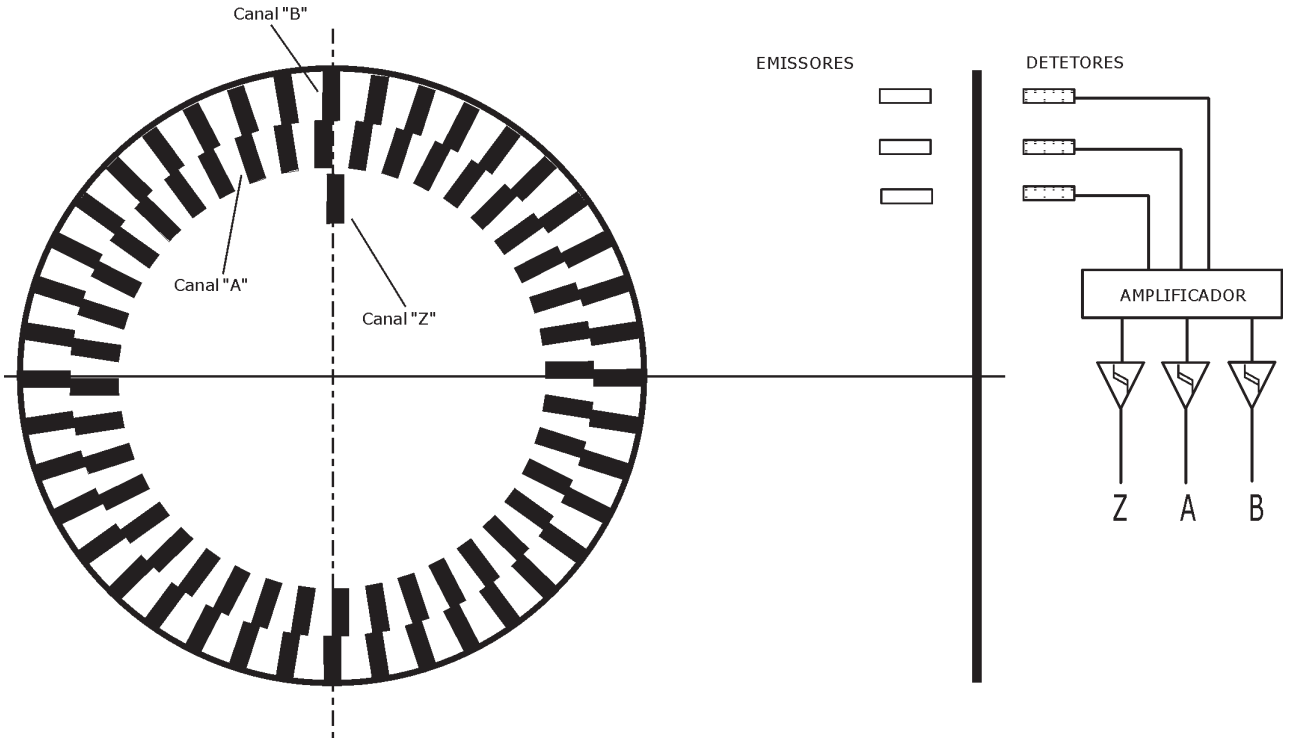


Figura 6.2

Os codificadores incrementais são dispositivos ópto-mecânico-eletrônicos que fornecem informação discreta de deslocamento (posição relativa). Estes são fabricados com um disco de vidro ou metal que tem na sua periferia uma trilha com segmentos opacos e transparentes (ver figura 6.2) Três conjuntos de emissores de luz e detetores fotoelétricos são cuidadosamente dispostos a cada lado do disco codificado. Este disco é montado em um eixo podendo girar livremente, sendo acoplado pela sua vez ao eixo do elemento do qual se deseja determinar o deslocamento ou velocidade (por exemplo o eixo do motor). Quando o eixo gira, as linhas opacas e transparentes do disco passam entre o emissor e detetor de luz, modulando desta maneira o feixe luminoso produzido pelo emissor de luz, atingindo o detetor, e gerando neste um sinal elétrico correspondente com as divisões gravadas no disco. O feixe de luz é focalizado no disco mediante sistemas

ópticos (lentes, espelhos, prismas, etc).

Os dois pares emissor/detetor são posicionados de maneira tal a produzir no detetor dois sinais defasados de 90°, ver figura 6.3 (sinais A e B). Estes sinais são processados (decodificados) por um circuito eletrônico obtendo-se informação do sentido de rotação e a quadruplicação da resolução básica do encoder (nr. pulsos/rev x 4).

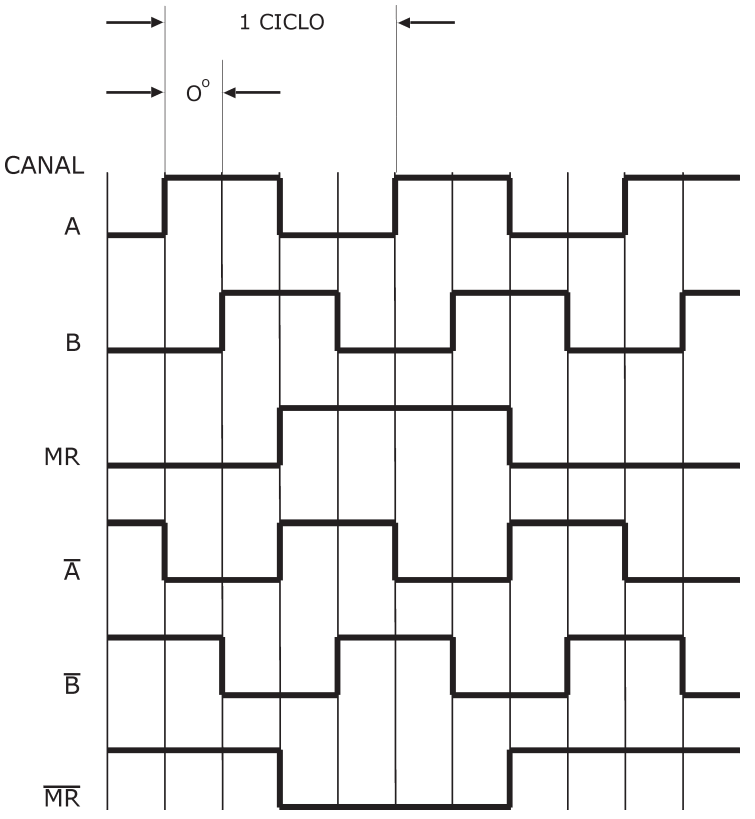


Figura 6.3

Portanto o número de pulsos do encoder detectados, por exemplo eletronicamente em um dispositivo de contagem, é uma medida do deslocamento angular do dispositivo. A distância entre dois pulsos adjacentes do encoder é:

$$X_k - X_{k-1} = \Delta X_k \quad \text{(ver figura 6.4)}$$

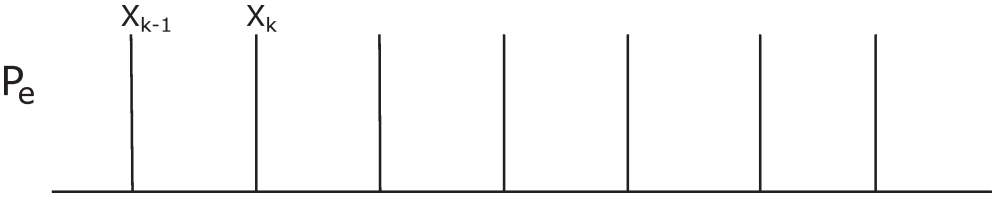


Figura 6.4

valor conhecido e constante. Se o encoder possui **p** pulsos por revolução, o valor unitário de deslocamento será 1/p:

$$\Delta X_k = \Delta X = 1/p \text{ [rev]}.$$

Desta maneira a posição X_k (posição depois de acontecidos **k** pulsos), é

$$k \cdot \Delta X = k/p \text{ [rev.]} = k \cdot 2\Pi/p \text{ [rad.]}$$

Logo, para medir posição basta um dispositivo que possa contar os pulsos gerados pelo encoder.

6.2 MEDIÇÃO DE VELOCIDADE

Até pouco tempo atrás só eram utilizados tacogeradores analógicos para realimentação de velocidade em motores elétricos; mas estes apresentavam problemas como:

- não-linearidades
- variação da resposta com a temperatura
- baixa precisão (0,5% no melhor dos casos)
- muito sensíveis à ruído (sinal analógico)

Com a maciça utilização dos encoders tem surgido diferentes tipos de técnicas de medição digital de velocidade. Para analisar estes métodos é importante definir os parâmetros que caracterizam um sistema de medição, a saber:

Resolução: É o menor incremento de velocidade que pode ser medido pelo sistema

Precisão: É o máximo desvio que o valor medido sofre em relação ao valor real de velocidade

Tempo de detecção: É o tempo que o sistema necessita para realizar a medição.

Faixa de medição: É a faixa de velocidades (velocidade máxima, velocidade mínima) dentro da qual o sistema opera dentro das especificações.

Assim, um bom sistema é aquele cujo método de medição propicia alta resolução, alta precisão e baixo tempo de detecção numa larga faixa de medição. Existem vários médodos de medição de velocidade. Cada método pode ser caracterizado por um "algoritmo de estimção", já que o valor da velocidade é "estimado" a partir de um dado de posição.

6.2.1 Algoritmo de Estimação de Freqüência

A velocidade é aproximada contando o número de pulsos M1 vindos do transdutor durante um tempo fixo T_p, ver figura 6.5.
Este método é indicado para sistemas com faixa de medição estreita e para medição de altas velocidades.

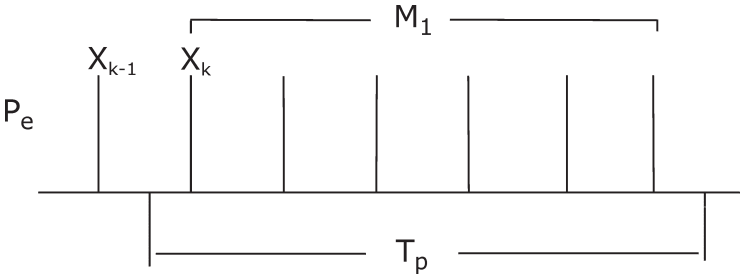


Figura 6.5

6.2.2 Algoritmo de Estimação do Período

A velocidade é aproximada medindo-se o tempo compreendido entre um número inteiro de pulsos consecutivos do encoder "P_e" (dois ou mais). Este tempo é computado com a ajuda de uma base de tempo "Pc" com freqüência fixa conhecida (ver figura 6.6), contando os pulsos M2.

Este método tal como o anterior é utilizado para faixas de medição estreitas, mas em baixas velocidades.

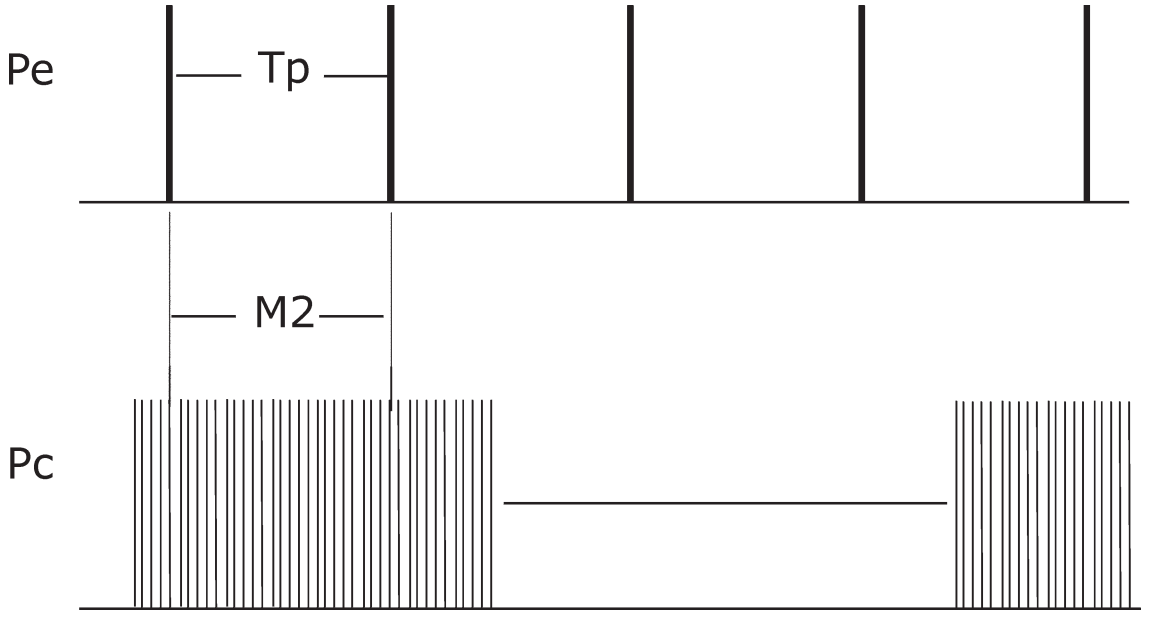


Figura 6.6

6.2.3 Algoritmo de Estimação Simultânea de Período e Freqüência

A velocidade é aproximada medindo período e freqüência. Desta maneira as duas medições são realizadas sincronizadamente permitindo obter com este método bons resultados tanto em altas como em baixas velocidades.

6.3 RUÍDOS

O ambiente industrial é normalmente muito poluído por ruídos de origem eletromagnética, podendo comprometer a integridade dos sinais transmitidos desde os sensores até à máquina. Os cabos que conduzem os sinais atuam como antenas receptoras dos ruídos, corrompendo a informação, podendo causar sérios problemas.

A quantidade de ruído eletromagnético induzido nos cabos pode ser minimizada utilizando-se cabos blindados, níveis de sinal elevados (12 ou 24 V) ou transmissão de sinais em forma diferencial.

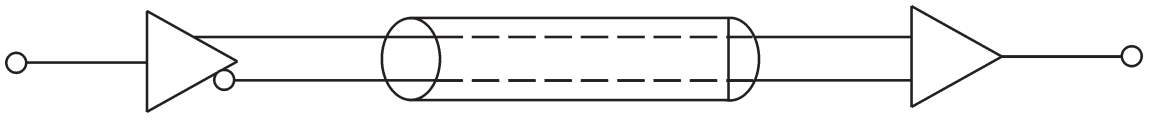


Figura 6.7

A figura 6.7 mostra uma linha de transmissão diferencial; se um ruído for induzido na linha, os dois canais serão afetados e como no final da linha é realizada uma operação de subtração dos sinais o ruído será rejeitado. Dependendo do tipo de cabo e da impedância de saída do dispositivo que gera o sinal diferencial, os sinais podem ser transmitidos até uma distância máxima de aproximadamente 1000 metros.

6.4 SINCRONIZAÇÃO DE VELOCIDADE

A figura 6.8 mostra uma representação esquemática de um mecanismo convencional para variação de velocidades e sentido de rotação. Normalmente é utilizada uma cadeia cinemática, com projeto baseado em especificações de velocidade, sentido de rotação e torque; as características de saída estão determinadas pelas características do acionamento combinadas com um determinado conjunto de engrenagens.

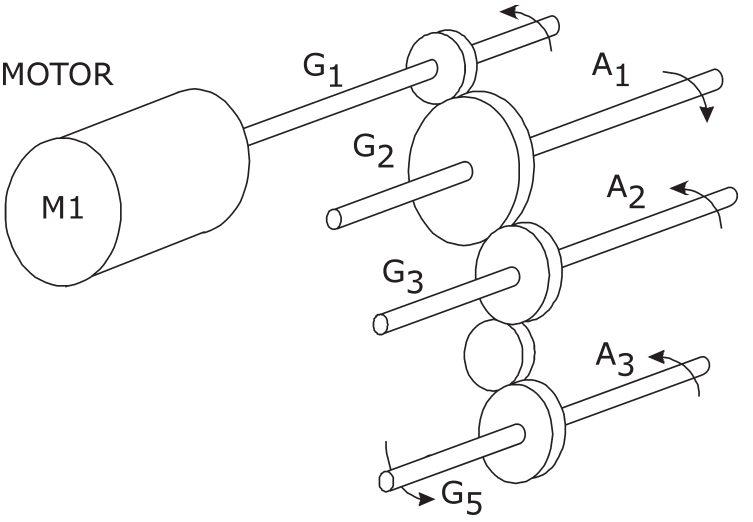


Figura 6.8

Este tipo de configuração é utilizado em aplicações onde são necessárias relações de transmissão fixas. No entanto, em aplicações onde se precisa de uma relação variável, é necessário um sistema que gere instantaneamente uma nova relação de transmissão. A figura 6.9 mostra um exemplo onde não obstante existir redutores, necessários para adaptar velocidades e/ou torques dos motores com as respectivas cargas, existe também para cada eixo um acionamento controlado eletronicamente. Este tipo de sistema além de eliminar a complicada cadeia cinemática oferece a grande flexibilidade do controle eletrônico onde qualquer combinação de velocidade e sentido de rotação pode ser programado.

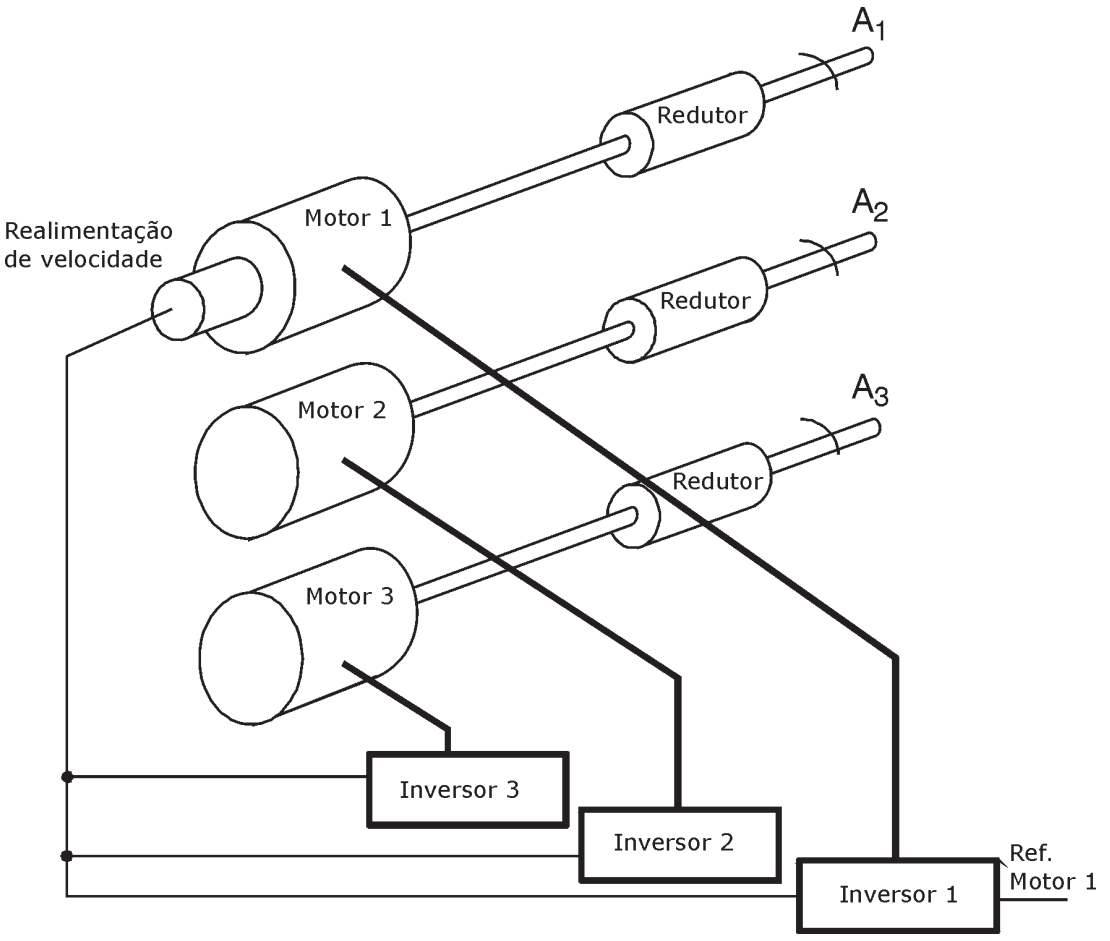


Figura 6.9

O sistema possui um motor e um acionamento por eixo. Um dos eixos opera com a função de mestre, isto é, seu valor real de velocidade é fornecido para sincronizar os outros eixos, considerados escravos, pois suas velocidades serão proporcionais, com razão de proporcionalidade programável, à velocidade do eixo mestre.

Sistema multimotores:
É quando um inversor de freqüência alimenta vários motores conectados em paralelo. Todos os motores deverão ter a mesma tensão e freqüência de alimentação. A velocidade de funcionamento dos motores dependerá do número de pólos e do escorregamento (que é função da carga) de cada motor.
Neste tipo de aplicação deve se levar em conta que um ou vários dos motores ligados ao sistema multimotores pode necessitar ser desligado com o inversor funcionando, este fato precisa ser levado em consideração na hora do dimensionamento.

7

APLICAÇÃO DE ACIONAMENTOS COM MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

7.1 Introdução, definições, fundamentos e princípios

7.1.1 Definições

7.1.2 Relações básicas

7.2 O que a carga requer

7.2.1 Tipos de carga

- Torque constante
- Potência constante
- Torque linearmente crescente
- Torque com crescimento quadrático

7.2.2 O pico de carga

7.2.3 Estimando cargas

7.3 Seleção de acionamentos (motor/inversor)

7.3.1 Operação abaixo da rotação nominal

- Motor autoventilado
- Motor com ventilação independente

7.3.2 Operação acima da rotação nominal

7.3.3 Casos especiais

- Efeito da temperatura ambiente
- Efeito da altitude

7.4 Aplicações típicas

7.4.1 Sistemas de bombeamento de fluídos

7.4.2 Sistemas de ventilação

7.4.3 Ar-condicionado (sistemas de chiller à água)

7.4.4 Papel e celulose

7.4.5 Movimentação de Cargas

7 APLICAÇÃO DE ACIONAMENTOS COM MOTORES DE INDUÇÃO E INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

7.1 INTRODUÇÃO, DEFINIÇÕES, FUNDAMENTOS E PRINCÍPIOS

Uma das maiores fontes de problemas ao se tratar de sistemas de acionamento é a aplicação inadequada dos diversos tipos existentes. Acionamentos ca e cc têm características peculiares, que devem ser levadas em conta ao se fazer uma escolha. Não só as características de torque são diferentes, mas também há consideráveis diferenças de custos, perturbações introduzidas na rede elétrica, fator de potência gerado, dimensões de carcaça disponíveis, etc.

É necessário, portanto, um conhecimento básico de como o motor interage com o sistema de controle, e estes dois por sua vez, com a máquina a ser acionada, a fim de se poder fazer uma aplicação apropriada.

O dimensionamento do acionamento é feito com base no torque requerido pela carga (veja a definição de *torque* e de *carga* na seção 7.1.1 abaixo). Assim, pode-se dizer que é necessário conhecer muito bem a máquina a ser acionada. É muito importante fazer uma quantidade tão grande quanto possível de perguntas, mesmo a respeito de coisas aparentemente insignificantes. É impossível perguntar demais, e um dos segredos está em entender muito bem a aplicação.

É necessário ainda uma compreensão das relações entre torque, potência, velocidade e aceleração/desaceleração, bem como do efeito de uma transmissão mecânica nestas grandezas.

Finalmente, é necessário utilizar um método sistemático para selecionar o equipamento adequado.

7.1.1 Definições

MOTOR - Sempre que houver uma menção genérica a *"motor"* nesta seção, estará se referindo ao motor de corrente alternada (ca) de indução, assíncrono, com rotor tipo gaiola de esquilo, a menos de declaração explícita ao contrário.

ACIONAMENTO - A palavra *acionamento* significa aqui, o conjunto compreendido pelo motor e seu sistema de partida, mais qualquer aparelho eletrônico de controle envolvido (tal como um inversor).

CARGA - A palavra *carga* significa aqui, o conjunto de componentes da máquina que se movem, ou que estão em contato e exercem influência sobre eles, começando a partir da ponta-de-eixo do motor.

TORQUE - O *torque* pode ser definido como "a força necessária para girar um eixo". Ele é dado pelo produto da força tangencial ***F*** (N) pela distância ***r*** (m), do ponto de aplicação da força ao centro do eixo. A unidade de torque no SI (Sistema Internacional) é o Nm (Newton-metro).

INÉRCIA - *Inércia* é a resistência que uma massa oferece à modificação do seu estado de movimento. Todo corpo que tem massa tem inércia. Uma massa em repouso requer um torque (ou força) para colocá-la em movimento; uma massa em movimento requer um torque (ou força) para modificar a sua velocidade ou para colocá-la em repouso. O *momento de inércia de massa* ***J*** (kgm^2) de um corpo depende da sua massa ***m*** (kg) e da distribuição da massa ao redor do eixo de giro, ou seja, da sua geometria. O *Anexo 1* traz as fórmulas para o cálculo do momento de inércia de massa de diversos corpos comuns.

7.1.2 Relações Básicas

Torque

O torque ***T*** (Nm) é o produto da força ***F*** (N) necessária para girar o eixo, pela distância ***r*** (m) do ponto de aplicação da força ao centro do eixo

$$T = F * r \tag{7.1}$$

Este é o torque necessário para vencer os atritos internos da máquina parada, e por isso é denominado de *torque estático de atrito*, $T_{e\,at}$.

Pode-se determinar o torque demandado para por em movimento uma máquina, medindo a força, por exemplo, utilizando uma chave de grifo e um dinamômetro de mola (figura 7.1).

Figura 7.1 - Medição de torque

Exemplo:
Se obtivermos uma leitura de força de 75 N (~ 7,6 kgf) a 0,6 m (600 mm) do centro do eixo de entrada, o torque será (eq. 7.1)

$$T_{e\,at} = 75 * 0{,}6 = 45{,}0 \text{ Nm}$$

VELOCIDADE DE ROTAÇÃO
A máxima velocidade síncrona de rotação ***n*** (rpm) de um motor controlado por inversor depende do número de pólos ***p*** do motor e da freqüência máxima de saída ***f*** (Hz) do inversor selecionado.

$$n = 120 * f / p \qquad (7.2)$$

Exemplo:
Um motor de 2 pólos comandado por um inversor cuja freqüência máxima de saída é de 150Hz, permite chegar até uma velocidade síncrona de (eq. 7.2)

$$n = 120 * 150 / 2 = 9.000 \text{ rpm}$$

POTÊNCIA
A potência ***P*** é dada pelo produto do torque ***T*** (Nm) pela velocidade de rotação ***n*** (rpm)

$$P = (2*\pi/60) * T * n \qquad (7.3)$$

e a unidade é o Watt. (Lembre-se: 1.000 W = 1 kW)

Exemplo:
Se a máquina demandasse os mesmos 45,0 Nm a uma velocidade de rotação de 1.760 rpm, então a potência seria (eq. 7.3)

$$P = (2*\pi/60) * 45{,}0 * 1.760 = 8.294\ W\ (\sim 8{,}3\ kW)$$

ACELERAÇÃO (DESACELERAÇÃO)

O torque ***T*** (Nm) necessário para acelerar (ou desacelerar) uma carga com momento de inércia de massa (ou simplesmente *inércia*) ***J*** (kgm2), da velocidade de rotação $\boldsymbol{n_1}$ (rpm) para $\boldsymbol{n_2}$ (rpm), em um tempo ***t*** (s), é dado por

$$T_{d\,ac} = (2*\pi/60) * J * (n_2 - n_1) / t \qquad (7.4)$$

Este torque é chamado *de torque dinâmico de aceleração*, $\boldsymbol{T_{d\,ac}}$. Se $n_2 > n_1$ (aceleração), $\boldsymbol{T_{d\,ac}}$ é positivo, significando que seu sentido é igual ao sentido de rotação; se $n_2 < n_1$ (desaceleração), $\boldsymbol{T_{d\,ac}}$ é negativo, significando que seu sentido é contrário ao sentido de rotação.

Exemplo:

Um cilindro maciço de alumínio, de diâmetro **d** = 165 mm e comprimento **l** = 1.200 mm, e portanto com uma massa **m** de aproximadamente 69,3 kg, tem momento de inércia de massa **J** de (eq. A1.7, Anexo 1)

$$J = 1/8 \times 69{,}3 \times 0{,}165^2 = 2{,}36E10^{-1}\ kgm^2$$

Se o corpo deve acelerar de de 0 a 1.760 rpm no tempo de 1,0s, então o torque de aceleração será (eq. 7.4)

$$T_{d\,ac} = (2*\pi/60) * 2{,}36E10^{-1} * (1.760 - 0) / 1{,}0 = 43{,}5\ Nm$$

Adicionando-se o torque de aceleração acima calculado ao torque de atrito calculado no primeiro exemplo acima, tem-se

$$T = 45{,}0 + 43{,}5 = 88{,}5\ Nm$$

e para a potência (eq. 4.3)

$$P = (2*\pi/60) * 88{,}5 * 1.760 = 16.303\ W\ (\sim 16{,}3\ kW)$$

EFEITO DE UMA TRANSMISSÃO MECÂNICA

Por transmissão mecânica entende-se um redutor (ou multiplicador) de velocidade como, por exemplo, um

redutor de engrenagens, ou uma redução por polias e correia em V, ou ainda correia dentada. Uma transmissão mecânica tem dois parâmetros importantes para o dimensionamento do acionamento, que são: *(a)* a razão de transmissão $\boldsymbol{i_R}$, e *(b)* a eficiência η_R. No caso de redutores de engrenagens estes parâmetros são fornecidos pelo fabricante do mesmo, e no caso de transmissões por polias e correias, podem ser calculados a partir dos parâmetros da transmissão (razão dos diâmetros efetivos ou razão dos números de dentes).

Redutores de velocidade são utilizados, por exemplo, no acionamento de máquinas de baixa velocidade, entre o eixo do motor e o eixo de entrada da máquina. Assim como a velocidade de rotação do motor é reduzida na proporção da razão de transmissão $\boldsymbol{i_R}$, também o torque do motor é multiplicado na mesma proporção. Além disso, uma parte da energia que entra é consumida pelas perdas internas (atritos, ruído, etc), quantificadas pela eficiência η_R. Assim, o torque necessário na entrada de um redutor, $\boldsymbol{T_1}$ (Nm) em função do torque demandado na saída $\boldsymbol{T_2}$ (Nm) é dado por

$$T_1 = T_2 / (i_R * \eta_R) \qquad (7.5)$$

Exemplo:
Se no exemplo 4, com $\boldsymbol{T_2}$ = 88,5 Nm, houvesse um redutor de engrenagens de 1 estágio com razão de transmissão $\boldsymbol{i_R}$ = 1,8 e eficiência η_R = 0,85 teríamos para o torque $\boldsymbol{T_1}$ (eq. 7.5)

$$T_1 = 88{,}5 / (1{,}8 * 0{,}85) = 57{,}8 \text{ Nm}$$

A velocidade máxima do motor deveria ser então

$$n_1 = 1.760 * 1{,}8 = 3.168 \text{ rpm}$$

E a potência (eq. 7.3)

$$P = (2*\pi/60) * 57{,}8 * 3.168 = 19.179 \text{ W } (\sim 19{,}2 \text{ kW})$$

7.2 O QUE A CARGA REQUER ?

Antes de mais nada convém relembrar a definição do termo carga, da Sec. 7.1.1: Neste material a palavra *carga* significa: "*O conjunto de componentes da máquina que se move, ou que está em contato e exerce influência sobre eles, começando a partir da ponta-de-eixo do motor*".

Devemos iniciar preocupando-nos com a carga, e não com o motor ou com o inversor. Um bom trabalho de decisão a respeito do melhor sistema de acionamento de uma máquina requer que a máquina em sí seja considerada primeiramente. Se você não conhece a máquina em profundidade não poderá tomar decisões acertadas com respeito ao seu acionamento.

Com esta finalidade é de grande utilidade um "check list", que contenha uma coletânea de sugestões de perguntas a serem feitas. Pergunte-se a respeito da performance e das demandas da máquina. A carga é constante ou variável? É necessária uma aceleração rápida? Neste caso, qual é o máximo tempo de aceleração admitido? O regime de serviço é contínuo, ou interrompido, e repetido em intervalos? O Anexo 2 apresenta uma proposta bem mais extensa de um tal "check list", que pode inclusive ser expandido, adaptado para o seu caso específico.
Vamos nos concentrar daqui por diante na determinação do torque demandado pela carga.

7.2.1 Tipos de cargas

Geralmente os dados a respeito do torque demandado pela carga são apresentados na forma de um gráfico *"torque versus velocidade"*. Não precisa ser um gráfico impecavelmente produzido, com linhas perfeitas e coloridas. Importante é que seja de bom tamanho (não muito pequeno), e em escala. Pode muito bem ser feito a mão.

Geralmente as cargas caem em uma das seguintes categorias:

- **Torque constante**
  O torque demandado pela carga apresenta o mesmo valor ao longo de toda a faixa de velocidades. Logo, a demanda de potência cresce linearmente com a velocidade (figura 7.2a). Uma esteira transportadora movimentando uma carga de 1 ton

de peso a 0,1 m/s, por exemplo, requer aproximadamente o mesmo torque que se estivesse a 1,0 m/s. Outros exemplos de cargas com este tipo de comportamento são: equipamentos de içamento (guindastes e elevadores), laminadores, extrusoras, e bombas de deslocamento positivo (de pistões, de engrenagens e helicoidais).

- **Potência constante**
  O torque inicial é elevado e diminui exponencialmente com o aumento da velocidade. A potência demandada permanece constante ao longo de toda a faixa de variação de velocidade (figura 7.2b). Isto normalmente é o caso em processos onde há variações de diâmetro, tais como máquinas de bobinamento e desbobinamento, e desfolhadores, bem como em eixos-árvore de máquinas-ferramenta. Quando o diâmetro é máximo, é demandado máximo torque a baixa velocidade. A medida que diminui o diâmetro, diminui também a demanda de torque, mas a velocidade de rotação deve ser aumentada para manter constante a velocidade periférica.

- **Torque linearmente crescente**
  O torque cresce de forma linear com o aumento da velocidade, e portanto a potência cresce de forma quadrática com esta (figura 7.2c). Exemplo de carga com este comportamento são prensas.

- **Torque com crescimento quadrático**
  O torque demandado aumenta com o quadrado da velocidade de rotação, e a potência com o cubo (figura 7.2d). Exemplos típicos são máquinas que movimentam fluidos (líquidos ou gases) por processos dinâmicos, como, por exemplo, bombas centrífugas, ventiladores, exaustores e agitadores centrífugos. Estas aplicações apresentam o maior potencial de economia de energia já que a potência é proporcional à velocidade elevada ao cubo.

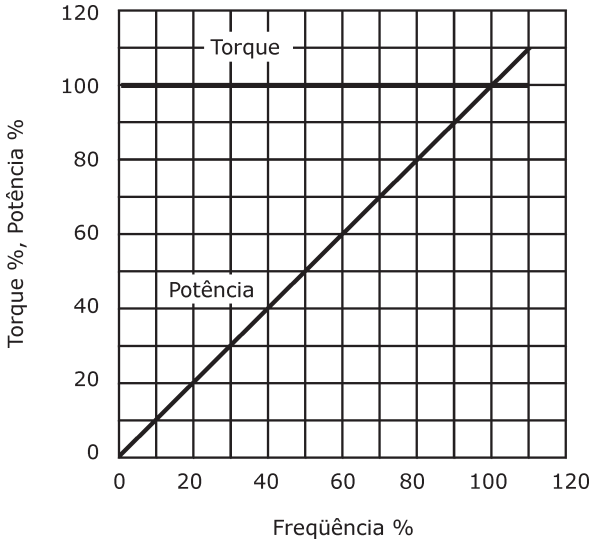


Figura 7.2a - Cargas típicas (torque constante)

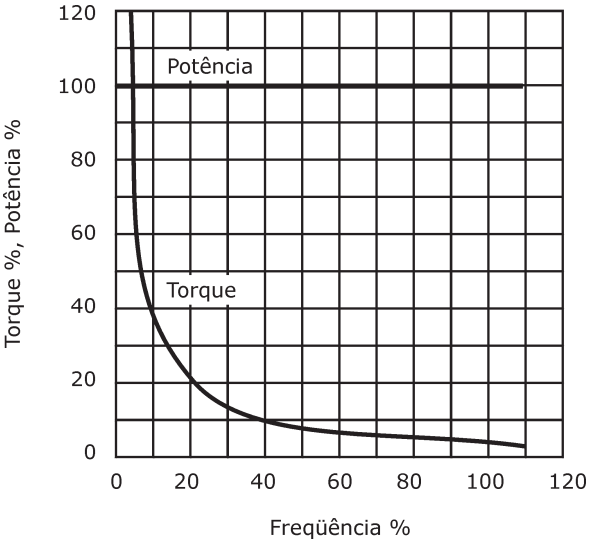


Figura 7.2b - Cargas típicas (potência constante)

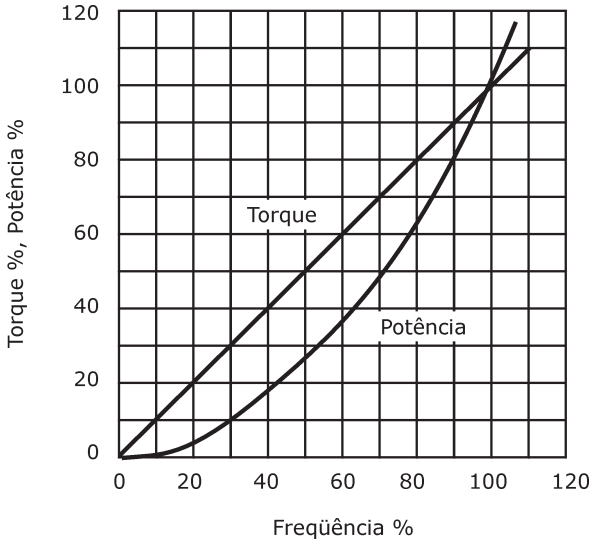


Figura 7.2c - Cargas típicas (torque linearmente crescente

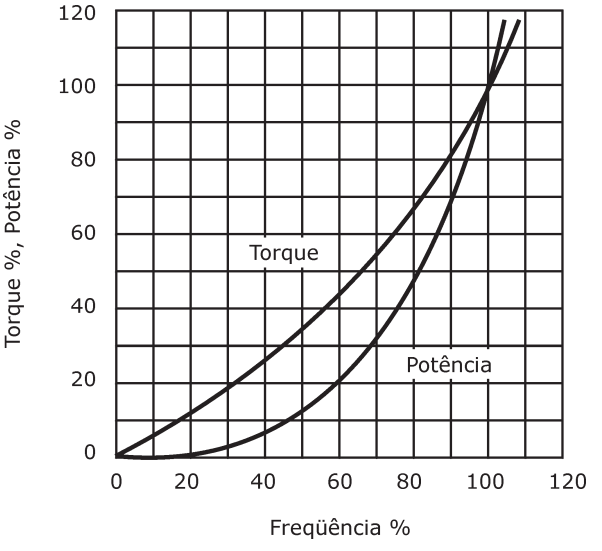


Figura 7.2d - Cargas típicas (torque com crescimento quadrático)

7.2.2 O pico de carga

O pico de torque é diferente para cada tipo de máquina e precisa ser corretamente identificado. Em alguns casos o torque de partida é muito elevado, tal como num transportador muito pesado. Uma carga de alta inércia que requer aceleração muito rápida, igualmente terá uma alta demanda de torque durante a aceleração. Outras aplicações apresentarão demanda máxima durante a operação em regime, e não na partida, com sobrecargas súbitas aparecendo periodicamente.

7.2.3 Estimando cargas

Por vezes é necessário determinar o torque demandado por uma máquina existente, que tem um motor CA alimentado diretamente pela rede. A corrente elétrica consumida pelo motor é um bom indicativo do torque demandado. Se for possível tomar valores de corrente em cada uma das condições de operação da máquina, pode-se chegar a uma boa aproximação do torque demandado pela máquina. A corrente deveria ser medida em uma das fases do motor no momento da partida, durante a aceleração, durante o funcionamento normal e ainda em eventuais situações de sobrecarga. Importante também é determinar a duração de cada uma dessas condições dentro do ciclo da máquina.

Em seguida verifica-se o valor da corrente nominal na plaqueta de identificação do motor.

Exemplo:
Um motor de 15 kW, 1760 rpm, 220 V tem uma corrente nominal de 52,0 A. O rendimento deste motor a 100 % da potência nominal é de 89,8 %. Isto significa que 89,8 % de 52,0 A = 46,7 A vão produzir torque. Os demais 52,0 – 46,7 = 5,3 A vão suprir as perdas e produzir a excitação do motor.

O torque nominal do motor pode ser calculado a partir da potência e da rotação nominais, como segue (eq. 7.3)

$$T = 15000/((2pi/60) \times 1760) = 81{,}4 \text{ Nm}$$

Pode-se dizer que o motor vai desenvolver então

$$81{,}4 \text{ Nm} / 46{,}7 \text{ A} = 1{,}743 \text{ Nm/A produtor de torque}$$

Assim, a uma leitura de corrente de 20 A, por exemplo, corresponderá um torque de

$$(20 - 5{,}3) \times 1{,}743 = 25{,}6 \text{ Nm}$$

Este raciocínio é válido até a rotação nominal. O torque de um motor CA operando com inversor de freqüência acima da rotação nominal varia inversamente ao quadrado da velocidade. Logo, a uma velocidade igual ao dobro da rotação nominal o motor produz apenas ¼ do torque nominal.

7.3 SELEÇÃO DE ACIONAMENTOS (MOTOR/ INVERSOR)

7.3.1 Operação abaixo da rotação nominal

Considerando-se que as perdas no cobre são resultado da corrente do motor, então a perda de potência será proporcional à carga. Dessa forma, se o motor gira mais lento, com a mesma corrente nominal (determinada pela carga) gerando a mesma perda de potência que ocorre em velocidades mais elevadas, o motor se sobreaquece, pois há um menor fluxo de ar de refrigeração disponível quando o ventilador do motor se movimenta em velocidades menores (motores autoventilados). Quando o motor é utilizado em aplicaçoes para controle de ventiladores ou bombas centrífugas, a carga normalmente diminui, conforme a velocidade se reduz, dessa forma o sobreaquecimento deixa de existir. Em aplicações onde o motor deve desenvolver pleno torque (100% da corrente) em baixa velocidade, o sobredimensionamento ou utilização de motores com um fator de serviço mais elevado se torna necessário.

OBSERVAÇÃO:
Chama-se **fator de serviço** (FS) o fator que aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente no motor, sob condições especificadas. Note que se trata de uma capacidade de sobrecarga contínua, ou seja, uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de ainda suportar o funcionamento em condições desfavoráveis. O fator de serviço não deve ser confundido com a capacidade de sobrecarga momentânea, durante alguns segundos. O fator de serviço FS = 1,0, significa que o motor não foi projetado para funcionar continuamente acima da sua potência nominal. Isto, entretanto, não muda a sua capacidade para sobrecargas momentâneas.

- **MOTOR AUTOVENTILADO**

Para a utilização de motores autoventilados padrão, a redução da ventilação nas baixas rotações faz com que seja necessária uma diminuição no torque demandado do motor ou o sobredimensionamento do mesmo, de modo a manter sua temperatura dentro dos limites da sua classe térmica. O fator de redução do torque ("derating factor"), que leva em consideração as influências da redução da ventilação em baixas rotações, bem como das harmônicas e do enfraquecimento de campo nas rotações acima da nominal para motores fechados, auto-ventilados, com carcaça de ferro-fundido, está representada na figura 7.3 e equacionada a seguir:

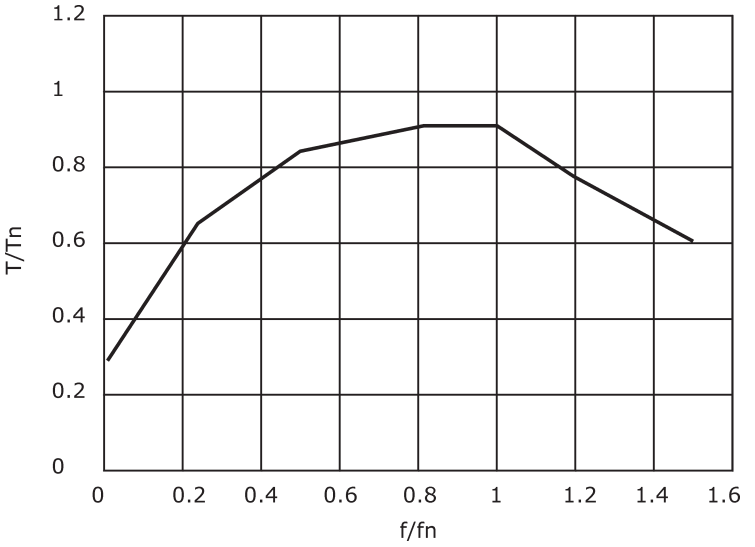


Figura 7.3 - Curva "torque x freqüência" para motores fechados, auto-ventilados

A curva foi obtida experimentalmente, em condições de alimentação com uma onda senoidal e fluxo nominal no entreferro. As equações correspondentes a cada trecho da curva da figura 7.3 são as seguintes:

A freqüência normalizada, f_r, dada por

$$f_r = f / f_n \tag{7.6}$$

sendo: f - freqüência de operação [Hz]

f_n - freqüência nominal [Hz]

Para 0 <= f_r < 0,25

$$T/T_n = 1{,}49 * f_r + 0{,}28 \tag{7.7}$$

Para 0,25 <= f_r < 0,50

$$T/T_n = 0{,}74 * f_r + 0{,}47 \tag{7.8}$$

Para 0,50 <= f_r < 0,83

$$T/T_n = 0{,}28 * f_r + 0{,}70 \tag{7.9}$$

Para 0,83 <= f_r < 1,0

$$T/T_n = 0,93 \quad (7.10)$$

Para f_r > 1,0

$$T/T_n = 0,93 / f_r \quad (7.11)$$

Exemplo:
Um motor fechado, autoventilado, de freqüência nominal f_n = 60Hz, devido à redução na capacidade de refrigeração quando operando a f = 30 Hz, pode fornecer

$$f_r = 30 / 60 = 0,5 \quad \text{(eq. 7.6)}$$

$$T/T_n = 0,28 * 0,5 + 0,70 = 0,84 \quad \text{(eq. 7.9),}$$

ou seja, somente 84 % do seu torque nominal,

e a f = 15Hz

$$f_r = 15 / 60 = 0,25 \quad \text{(eq. 7.6)}$$

$$T/T_n = 0,74 * 0,25 + 0,47 = 0,655 \quad \text{(eq. 7.8),}$$

ou seja, somente 65,5% do seu torque nominal.

● MOTOR COM VENTILAÇÃO INDEPENDENTE

Com a utilização de motores com ventilação independente, não existirá mais o problema de sobreaquecimento do motor por redução de refrigeração, podendo o mesmo ser dimensionado com a carcaça normal e potência necessária ao acionamento.

Para motores com ventilação independente, o ventilador que era acoplado ao próprio eixo do motor agora é acoplado à um outro motor independente, que geralmente é acoplado ao motor principal por intermédio de uma flange defletora especial que permite o suporte mecânico do motor da ventilação.

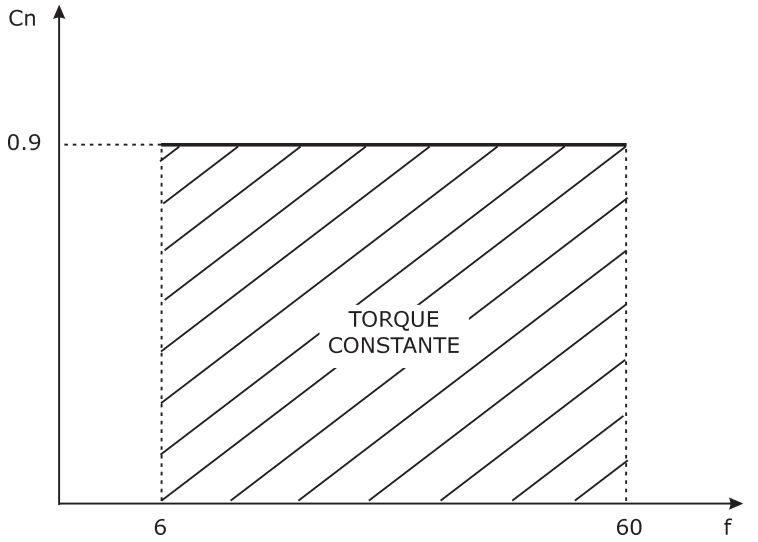


Figura 7.4 - Característica de torque disponível x rotação em motores com ventilação independente

7.3.2 Operação acima da rotação nominal

Um motor padrão para operar em rede de freqüência de 50 ou 60 Hz pode girar a freqüências mais altas quando alimentado por um conversor de freqüência. A velocidade máxima depende do seu balanceamento mecânico e dos rolamentos.

Neste caso, como o motor funcionará com enfraquecimento de campo, a máxima velocidade estará limitada pelo torque disponível do motor e pela máxima velocidade periférica das partes girantes do motor (ventilador, rotor, mancais).

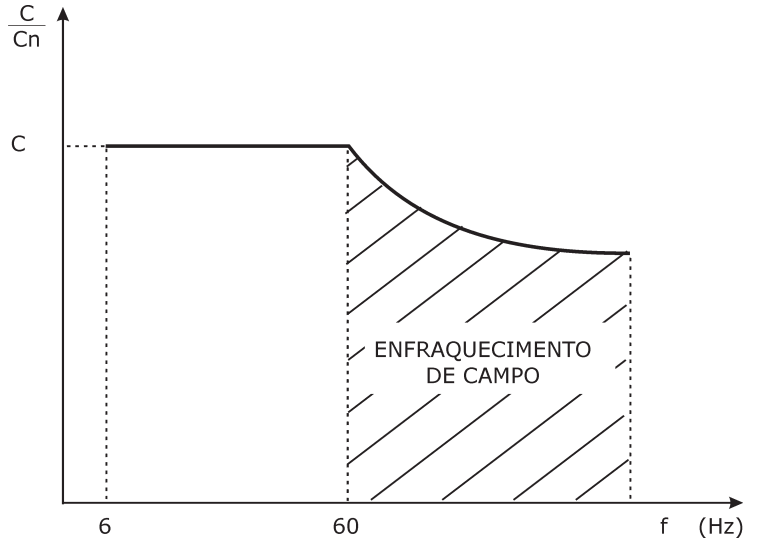


Figura 7.5 - Diminuição de torque devido ao aumento de velocidade

7.3.3 Casos especiais

A potência admissível de um inversor de freqüência é determinada levando-se em consideração, principalmente, dois fatores:

- Altitude em que o inversor será instalado;
- Temperatura do meio refrigerante;

Conforme a NBR-7094, as condições usuais de serviço, são:

a) Altitude não superior a 1000 m acima do nível do mar;

b) Meio refrigerante (ar ambiente) com temperatura não superior a 40ºC;

Nos casos em que o inversor deva trabalhar com temperatura do ar de refrigeração na potência nominal, maior do que 40ºC e/ou em altitude maior do que 1000m acima do nível do mar, deve-se considerar os seguintes fatores de redução:

● EFEITO DA TEMPERATURA AMBIENTE

A redução da potência (corrente) nominal do inversor de freqüência, devido à elevação da temperatura ambiente, acima de 40ºC e limitada a 50ºC, é dada pela relação e gráfico a seguir:

$$\text{Fator de redução} = 2\% / ºC \tag{7.12}$$

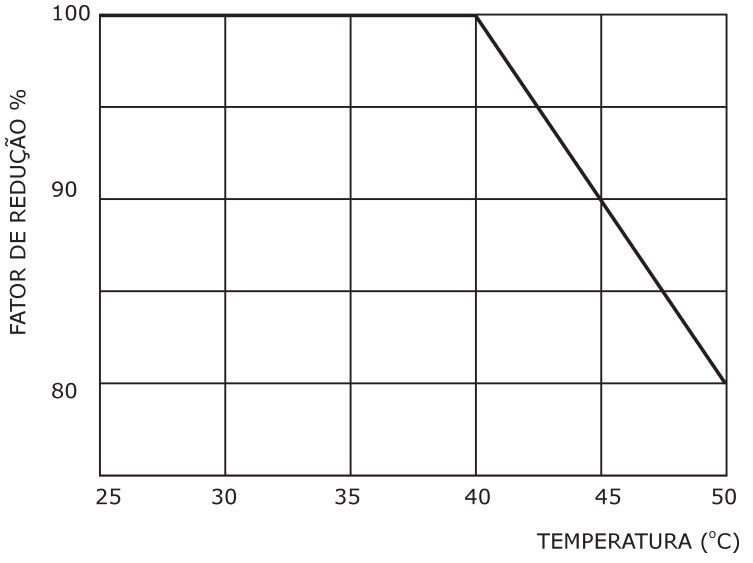


Figura 7.6 - Curva de redução de potência nominal em função do aumento da temperatura

● EFEITO DA ALTITUDE

Inversores funcionando em altitudes acima de 1000 m, apresentam problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e, conseqüentemente, diminuição do seu poder de arrefecimento.

A insuficiente troca de calor entre o inversor e o ar circundante, leva a exigência de redução de perdas, o que significa, também redução de potência. Os inversores tem aquecimento diretamente proporcional às perdas e estas variam, aproximadamente, numa razão quadrática com a potência.

Segundo a norma NBR-7094, os limites de elevação de temperatura deverão ser reduzidos de 1% para cada 100m de altitude acima de 1000 m.

A redução da potência (corrente) nominal do conversor de freqüência, devido à elevação da altitude acima de 1000 m e limitada a 4000 m, é dada pela relação e gráfico a seguir:

$$\text{Fator de redução} = 1\,\% / 100\text{m} \tag{7.13}$$

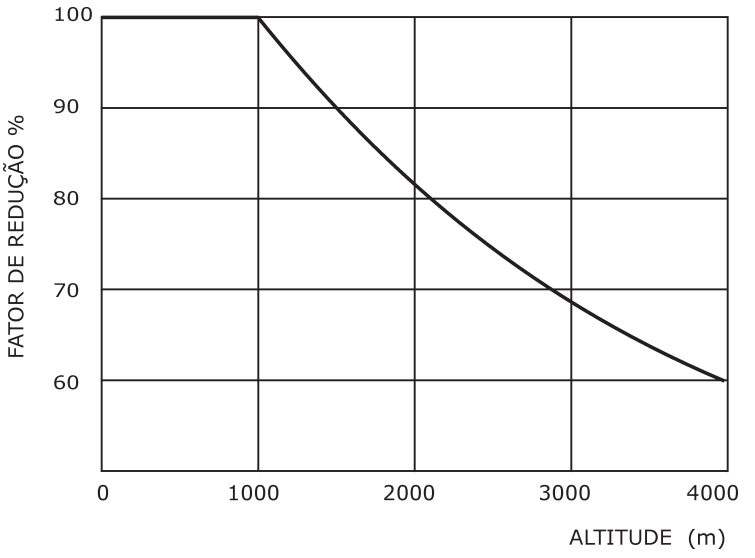


Figura 7.7 - Curva de redução de potência nominal em função do aumento da altitude

7.4 APLICAÇÕES TÍPICAS DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

O intuito da WEG Automação com este capitulo, é de fornecer dicas ao usuário de inversores de freqüência de como utilizar corretamente o equipamento em algumas das diversas aplicações existentes, e não de explicar detalhadamente cada aplicação citada neste guia.

Porém para o melhor entendimento do leitor, se faz necessário uma breve explicação de cada uma das aplicações citadas.

7.4.1 Sistemas de Bombeamento de fluídos

7.4.1.1 Definições

Bombeamento pode ser definido como o efeito de adicionar energia a um fluido para movê-lo de um ponto a outro. Como energia é a capacidade de produzir trabalho, adicioná-la a um fluido permite que o mesmo execute um trabalho, ou seja, fluindo através de uma tubulação ou atingindo um ponto com a cota mais elevada. Este efeito é obtido através das bombas que são máquinas operatrizes hidráulicas.

7.4.1.2 Classificação

As bombas classificam-se em duas grandes categorias, em função dos métodos mais comuns de aumentar a energia do fluido que são os equipamentos de deslocamento positivo ou volumétrico e os de ação centrífuga ou turbo-bombas.

Porém a grande maioria dos sistemas de bombeamento utilizam bombas de ação centrifugas, turbo bombas ou simplesmente bombas centrifugas.

Aproximadamente 40% dos motores elétricos utilizados nas indústrias, são aplicados em algum tipo de bomba ou ventilador.

- **BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DE DESLOCAMENTO POSITIVO**

São máquinas em que a movimentação do líquido é causada pela ação direta de um componente mecânico sobre o mesmo, obrigando-o a executar o mesmo movimento desenvolvido pelo componente mecânico.

As principais aplicações para este tipo de bomba são:

Bombeamento de líquidos com **viscosidade** de 30 a 1.000.000 SSU, principalmente os que possuem características lubrificantes

- **Indústria Petroquímica**: em refinarias no bombeamento de óleo diesel, óleo BPF, óleo cru, graxas, asfalto, querosene, gasolina, óleos em geral

- **Indústria Química**: tintas, vernizes, esmaltes, solventes, resinas, fertilizantes, acetonas, ácidos, cosméticos, detergentes, sabões, bases

- **Indústria Alimentícia**: Leite, xaropes, melaços, manteiga, geléias, gelatina, glicoses, óleo vegetal, cítricos, refrigerantes, cervejarias, óleos essenciais aromáticos

- **Indústria Metalúrgica**: Máquinas e Equipamentos Hidráulicos, filtros prensa, sistemas de lubrificação, queimadores de óleo, bombeamento de chumbo, mercúrio, etc.

- **Indústria de Papel e Celulose, Indústria Farmacêutica, Indústria Gráfica, Indústria Têxtil:** São mercados com grande utilização dos vários tipos de Bombas de deslocamento positivo.

- **CLASSIFICAÇAO DAS BOMBAS VOLUMÉTRICAS OU DE DESLOCAMENTO POSITIVO**

As bombas volumétricas/deslocamento positivo são classificadas de acordo com o tipo do órgão mecânico que produz o movimento e o respectivo movimento, e apresentam-se em dois grandes grupos:

Bombas de Êmbolo ou Alternativas
Neste tipo de bomba o movimento do líquido é produzido por um êmbolo que se desloca através de movimento alternativo no interior de um cilindro.

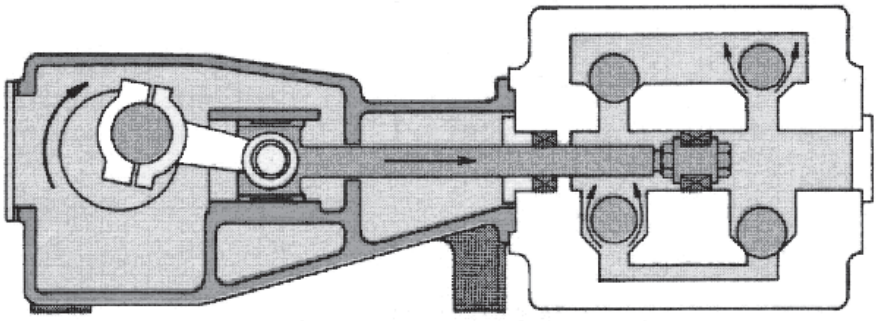


Figura 7.8 - Bomba de Êmbulo ou alternativa

Bombas Rotativas

A designação bombas rotativas é genérica pois abrange uma grande variedade de bombas, todas volumétricas, em que o movimento do líquido é produzido através do movimento de rotação de um elemento mecânico que pode ser:

Engrenagens, lóbulos, parafusos, paletas deslizantes, etc.

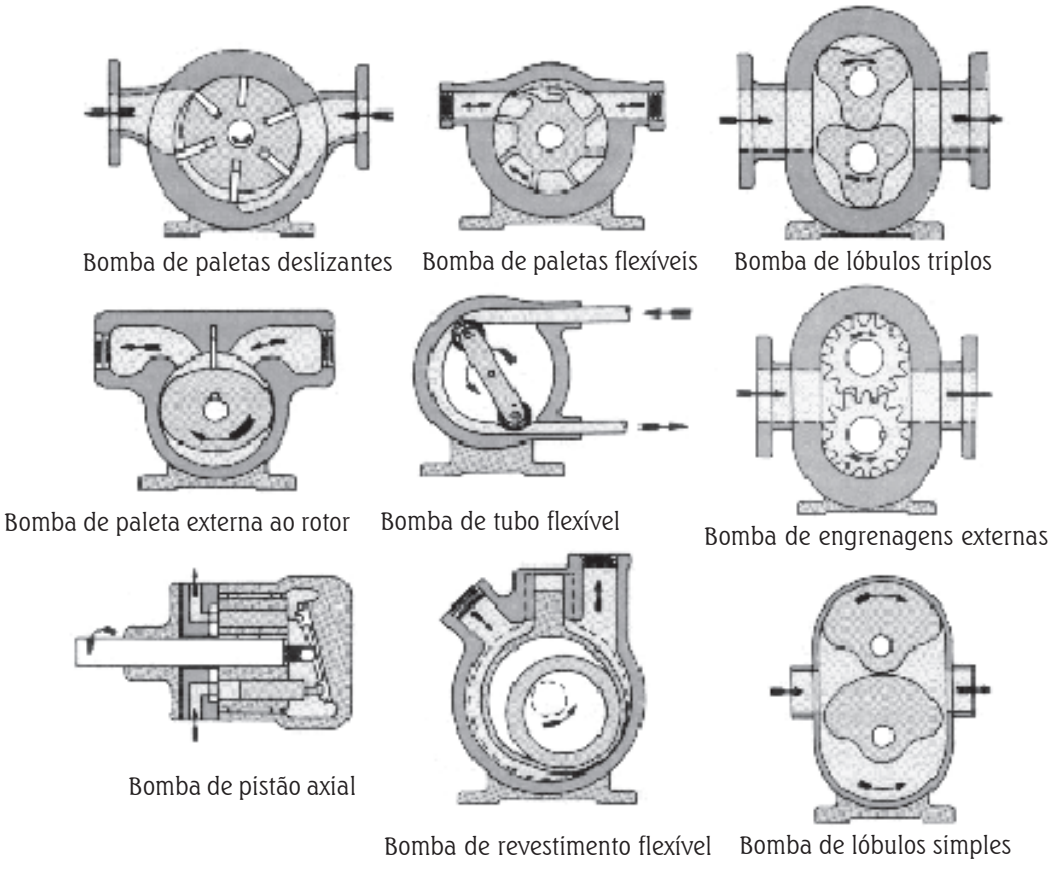
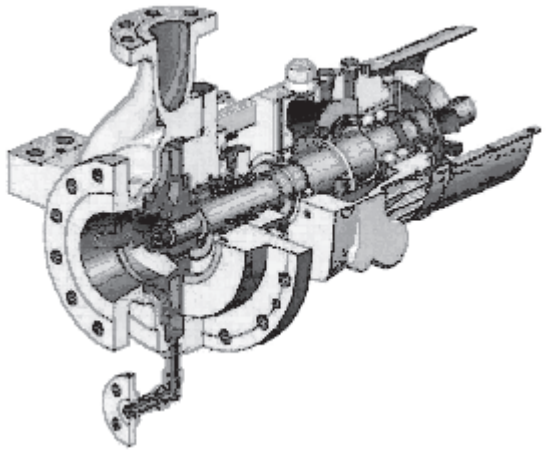


Figura 7.9 - Bombas Rotativas

7.4.1.3 Turbo-Bombas

São máquinas que consistem essencialmente de uma carcaça dentro da qual gira um rotor provido de pás. A movimentação do líquido é produzida por forças desenvolvidas na massa líquida.



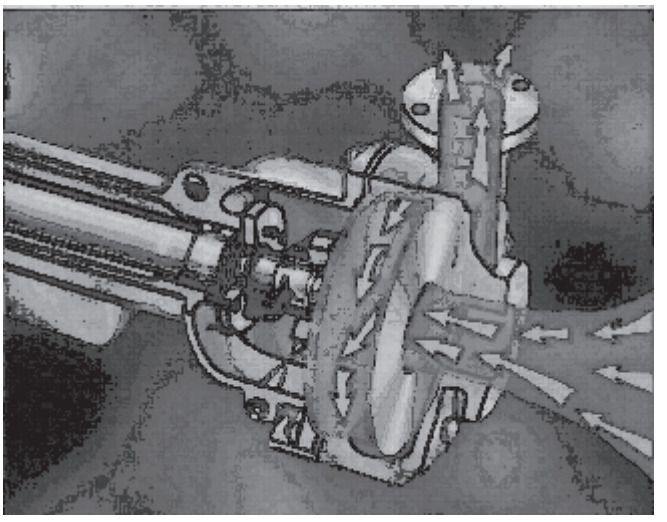


Figura 7.10 - Turbo-Bomba

- **CLASSIFICAÇÃO DAS TURBO-BOMBAS**

As Turbo-bombas são classificadas em função da direção da resultante do movimento do líquido em relação ao eixo de rotação do rotor e consistem basicamente em três tipos:

Centrífugas Puras ou Radiais
Quando a direção da resultante do movimento do líquido é ***Ortogonal*** ao eixo de rotação

Helico Centrífugas ou Mixed-Flow
Quando a direção da resultante do movimento do líquido é ***inclinada*** em relação ao eixo de rotação.

Axiais ou Helicoidais
Quando a direção da resultante do movimento do líquido é ***paralela*** em relação ao eixo de rotação.

● CURVA TÍPICA DAS TURBO-BOMBAS

Normalmente podemos representar a relação de pressão(H) e vazão(Q) do fluido que este estilo de bomba oferece ao sistema pelos gráficos abaixo:

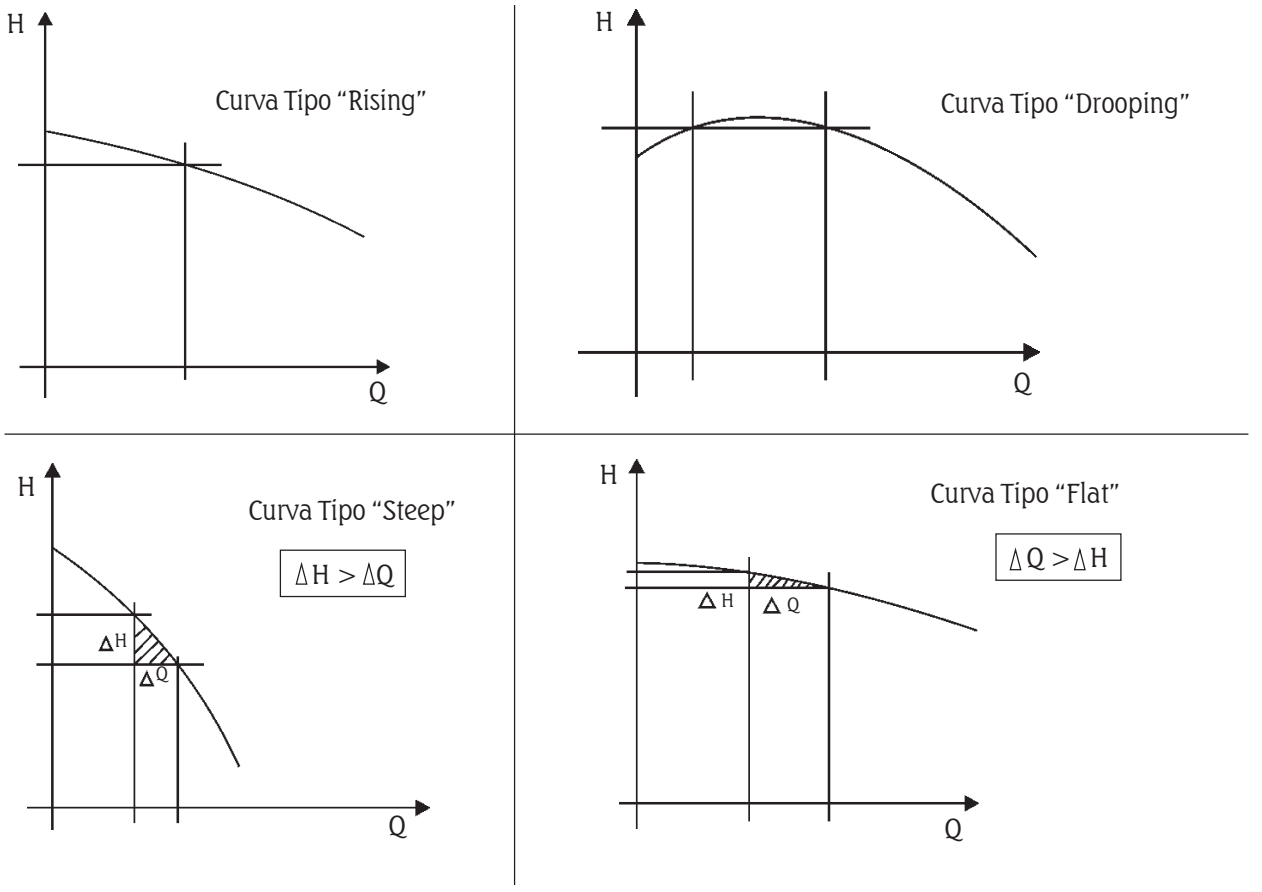


Figura 7.11 - Curva típica das turbo bombas

O que muda a relação de pressão(H) e vazão(Q) nas curvas apresentadas acima é a construção mecânica da bomba, principalmente a dimensão e forma do rotor que é utilizado na montagem.
Podemos ver esta influência da construção do rotor na curva da bomba, pelas figuras a seguir:

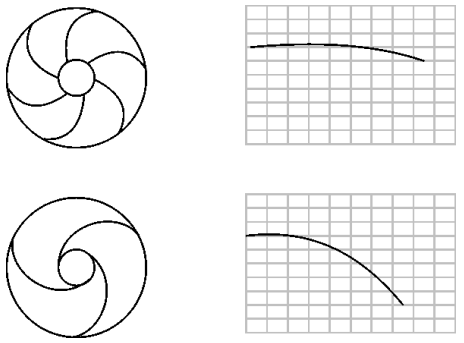


Figura 7.12 a -Influência do aumento da quantidade de paletas

Figura 7.12 b - Influência da área de entrada do rotor

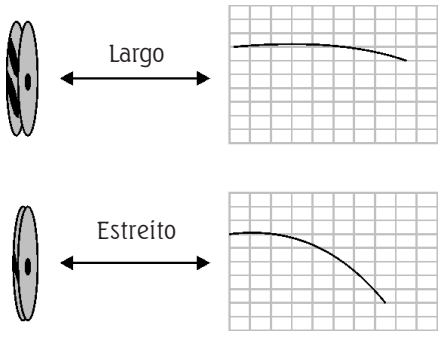


Figura 7.12 c - Influência da largura do rotor

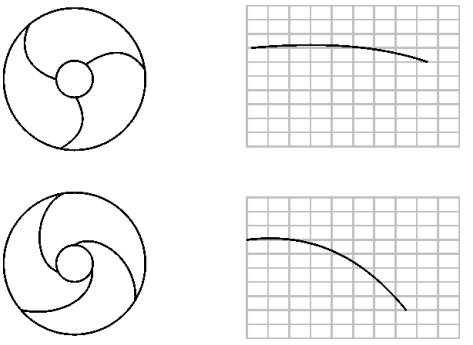


Figura 7.12 d - Influência do ângulo das paletas

● EXEMPLO TÍPICO DE APLICAÇÃO

Devido a grande maioria das aplicações em sistemas de bombeamento utilizar turbo bombas, ou simplesmente "bombas centrifugas", vamos concentrar as informações neste modelo de bomba.

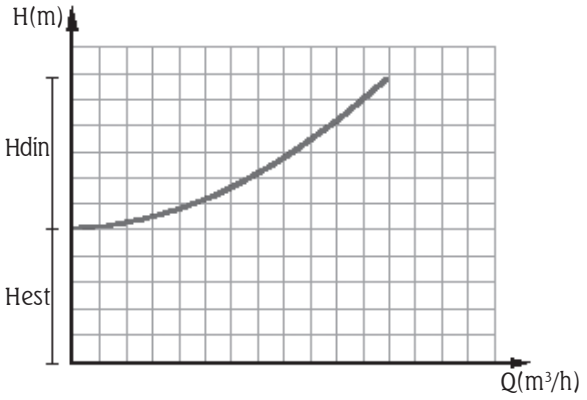
Outro detalhe que devemos prestar atenção nas as aplicações de bombas centrifugas, é que na maioria dos casos não se faz necessário um controle de velocidade, para estes casos podemos utilizar simplesmente um sistema com partida/parada eletrônica suave (Soft-Starter).

Porém nos sistemas onde precisa ser controlada alguma variável do processo (Pressão, Vazão, Nível e etc) a aplicação de inversores de freqüência no acionamento dos conjuntos de moto bombas traz grandes vantagens ao usuário.

Sistema com controle de pressão e vazão

Vamos imaginar um sistema onde precisamos abastecer uma série de torneiras com pressão(H) e vazão(Q) constante, porém as torneiras são acionadas o tempo todo sem seguir um padrão, mas apesar da variação da necessidade de consumo, o conjunto moto bomba, não pode variar a pressão para as torneiras.

Podemos representar o sistema através de uma curva característica que representa a necessidade de pressão com relação à vazão do sistema com todas as torneiras abertas.



Onde:
Hest = ALTURA ESTÁTICA (desnível de líquido), (m)
Hdin = ALTURA DINÂMICA função da perda de carga (*)

Figura 7.13 a - Gráfico de pressão por vazão do sistema

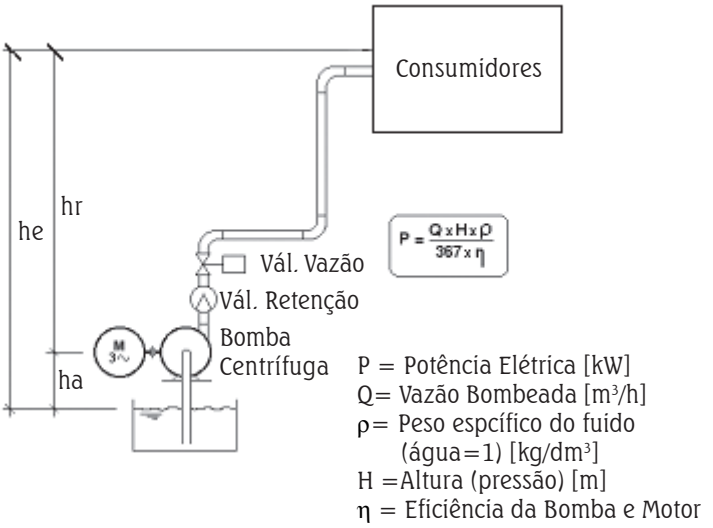


Figura 7.13 b - Sistema com controle de pressão e vazão

(*) J função de : Diâmetro da tubulação
Comprimento da tubulação
Comprimento equivalente devido a perdas em joelhos, curvas, válvulas, etc.
Vazão ao quadrado (Q^2)

O Conjunto moto bomba dimensionado, deve atender a necessidade de consumo do sistema funcionando com 100% das torneiras abertas, atendendo a demanda de pressão e vazão dos consumidores.

Agora vamos imaginar que somente 80% das torneiras consumidoras estão abertas e a demanda de consumo diminui na mesma proporção, desta forma o conjunto moto bomba precisa reduzir a pressão e vazão fornecidas ao sistema.

Existem várias maneiras de reduzir a pressão e vazão fornecida ao sistema, mas somente 03 (três) delas são utilizadas com mais freqüência, são elas os métodos de:

- *SISTEMA BY-PASS (RECIRCULAÇÃO)*
- *CONTROLE ATRAVÉS DE VÁLVULAS (ESTRANGULAMENTO)*
- *VARIAÇÃO DE VELOCIDADE*

Para facilitar o entendimento, vamos analisar cada um dos métodos utilizados separadamente.

Sistema BY-PASS (RECIRCULAÇÃO)

No método de ***"recirculação"*** é inserida uma derivação na tubulação, para desviar de volta ao tanque de captação, uma parte do fluxo de água enviado ao sistema, como podemos notar na figura abaixo.

Porém ao utilizar este método, o usuário fornece ao sistema os 80% da carga que os consumidores estão necessitando, mas aumenta a vazão do conjunto moto bomba, mantendo a potência elétrica consumida pelo conjunto moto bomba.

Neste caso o consumo elétrico do conjunto moto bomba praticamente não se altera, porém existe o desperdício de energia provocado pela água que retorna ao tanque de captação depois de bombeada. Que pode ser representado pela área destacada em vermelho.

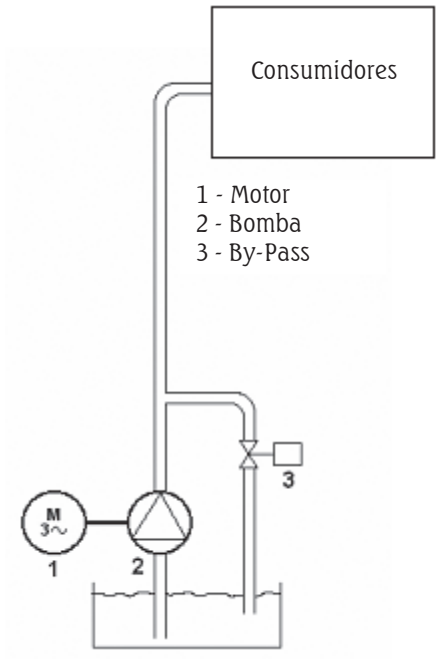


Figura 7.14 a - Sistema by-pass (recirculação)

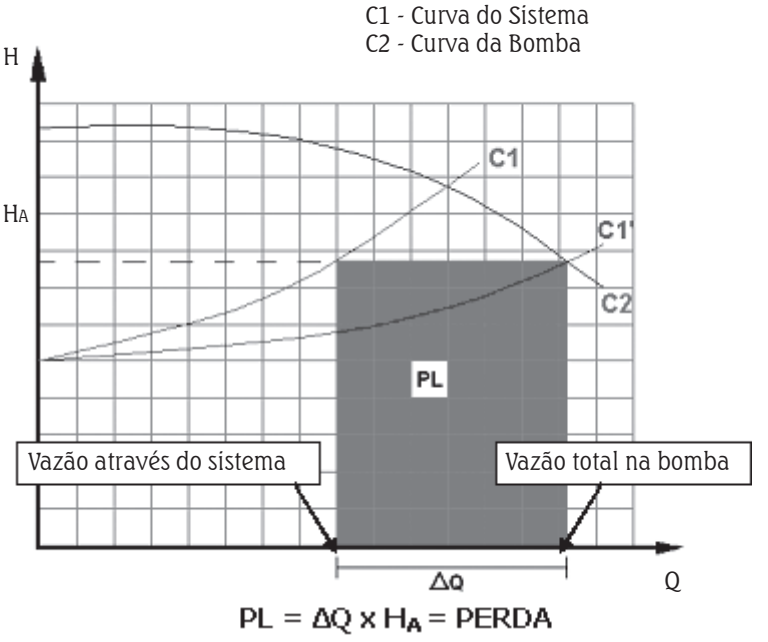


Figura 7.14 b - Gráfico de pressão por vazão do sistema by-pass (recirculação)

Controle através de válvulas (estrangulamento)

No método de ***"estrangulamento"*** é inserida uma válvula de controle de fluxo na tubulação, para enviar ao sistema somente 80% da vazão, como podemos notar na figura abaixo.

Ao utilizar este método, o usuário insere um aumento de carga ao sistema, através de uma válvula. Os consumidores recebem somente a pressão e vazão que estão necessitando, porém ocorre um aumento de pressão no conjunto moto bomba, mantendo a vazão constante.

Desta maneira, existe uma redução de consumo de potência elétrica do sistema, comparando com o método de ***"recirculação",*** mas ainda existe o desperdício de energia pelo aumento de carga provocado pela válvula parcialmente fechada inserida ao sistema. Esta perda pode ser representada pela área destacada em vermelho.

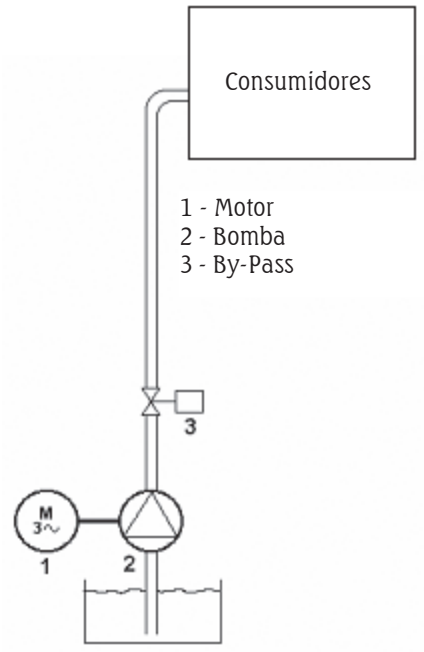


Figura 7.15 a - Sistema de controle através de válvulas. (Estrangulamento)

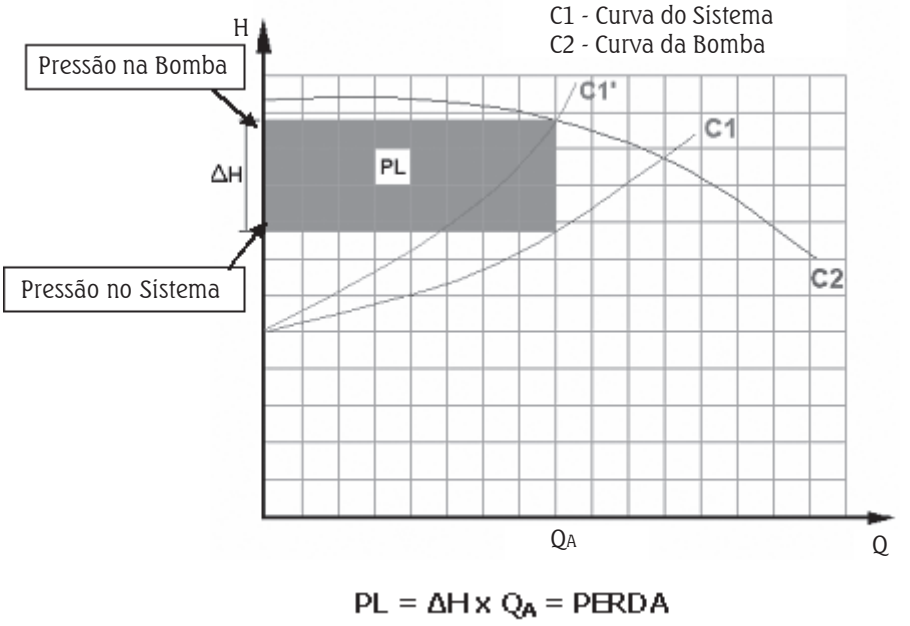


Figura 7.15 b - Gráfico de pressão por vazão do sistema com controle através de válvulas (estrangulamento)

Variação de velocidade

No método de ***"variação de velocidade"*** é incorporado ao sistema um sensor de pressão ou de vazão que envia um sinal analógico ao inversor de freqüência que aciona o conjunto moto bomba. Como podemos notar na figura abaixo.

Ao utilizar este método, o usuário envia ao sistema somente a demanda requerida pelos consumidores, porém não é realizado nenhum trabalho adicional, nem inserido ao sistema uma perda de carga, o que realmente ocorre é uma variação de velocidade na bomba. Movimentando a curva da bomba para o ponto ideal de consumo do sistema conforme a necessidade. Não é variada a curva do sistema, como ocorre nos métodos de ***"recirculação"*** e ***"estrangulamento"***.

Desta maneira, o sistema consome da rede elétrica exatamente a potência requisitada, levando grande vantagem sobre os métodos de ***"recirculação"*** e ***"estrangulamento"*** reduzindo a potencia elétrica consumida, em torno de 50% a 20%.

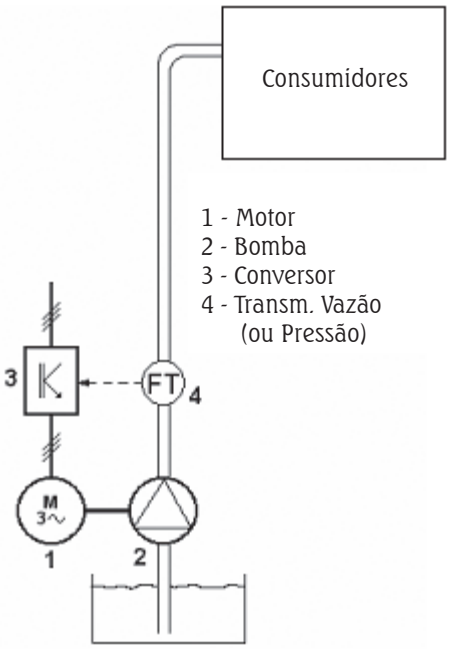


Figura 7.16 a - Sistema de variação de velocidade

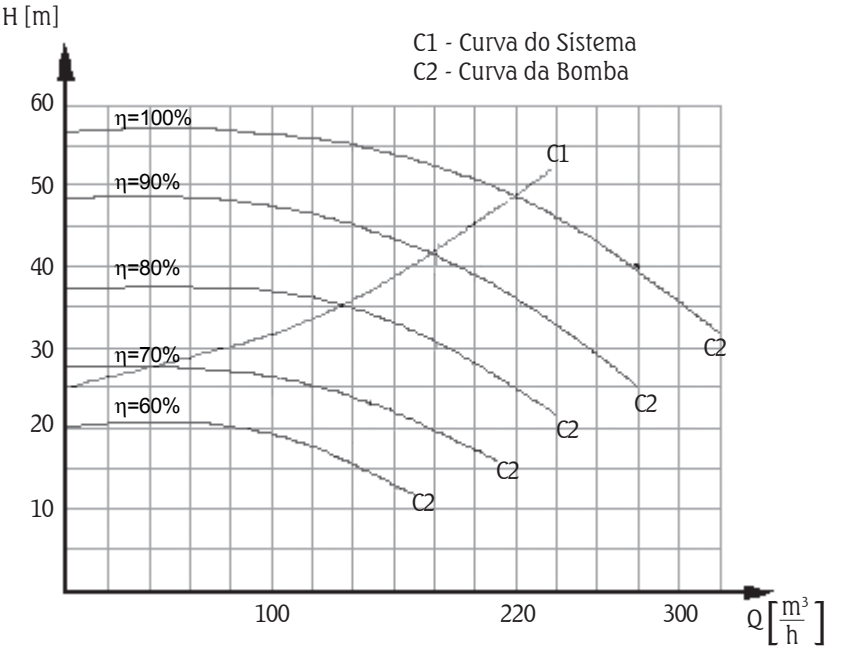


Figura 7.16 b - Gráfico de pressão por vazão do sistema com variação de velocidade

Ajustes convencionais

O Controle de velocidade do conjunto moto bomba através de um inversor de freqüência, necessita de alguns ajustes especiais para otimizar o funcionamento do sistema.

Porém, os inversores de freqüência da linha WEG possuem algumas funções especiais incorporadas que auxiliam o usuário de inversor de freqüência a realizar o ajuste para otimizar o sistema, são as funções de curva U/F quadrática e (P.I.D.), vamos analisar cada uma delas para uma melhor explicação.

Função curva U/F quadrática

Esta função tem o objetivo de otimizar o consumo de energia elétrica do conjunto motor de indução mais inversor de freqüência ao acionar um sistema de bombeamento.

Normalmente o inversor de freqüência, envia ao motor à tensão proporcional a freqüência de trabalho desejada, *(ver capítulo IV item 4.1).*

Porém este controle mantém o conjugado do motor constante e a potência elétrica linear. Mas em sistemas de bombeamento, a demanda de torque reduz com o quadrado da redução da velocidade do sistema, conforme demonstrado nos gráficos a seguir:

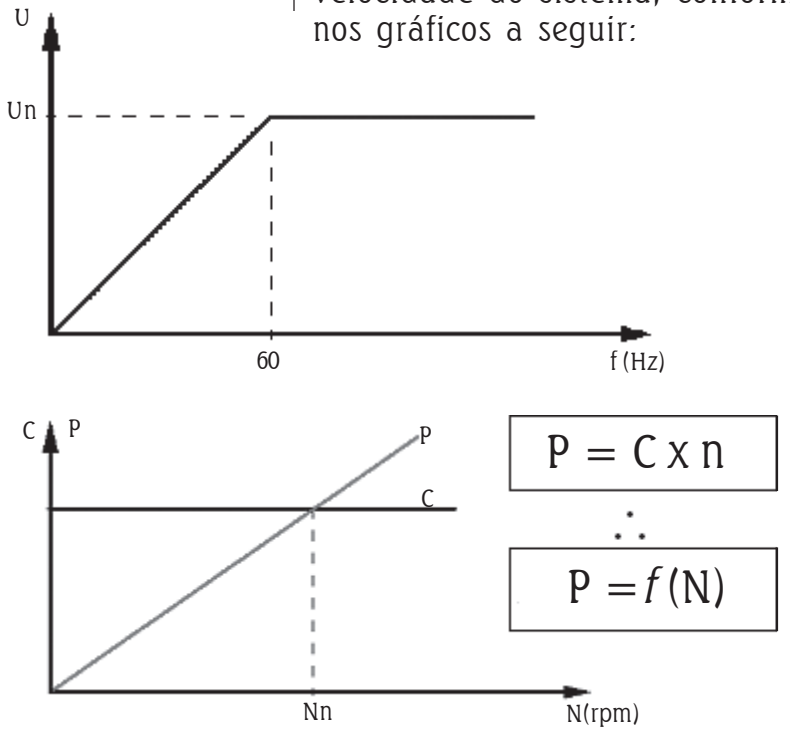


Figura 7.17 - Curva U/F quadrática

Mas ao utilizar o inversor de freqüência com o controle U/F linear em sistemas de bombeamento, o usuário fornece ao motor mais torque que realmente o motor necessita.

Consumindo da rede elétrica uma potência menor que os outros métodos, mas ainda maior do que realmente o sistema necessita.

Em sistemas de bombeamento, a demanda de torque cai com o quadrado da rotação, como podemos verificar na figura a seguir:

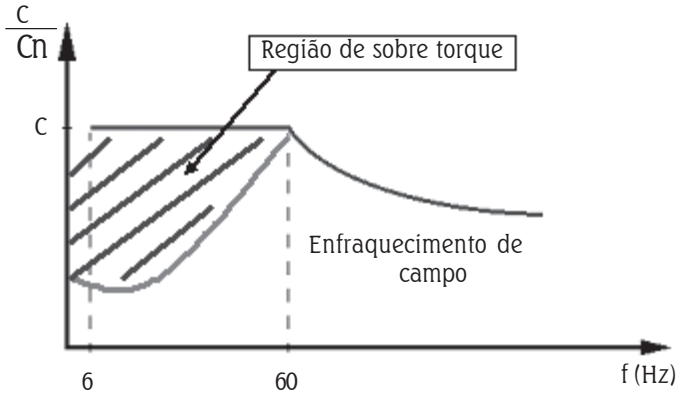


Figura 7.18 - Controle U/F utilizando inversores de freqüência em sistemas de bombeamento

Ao habilitar a função U/F quadrática nos inversores WEG o usuário consegue otimizar o fornecimento de torque à bomba, fazendo o sistema de bombeamento consumir apenas a potência necessária, como podemos observar nos gráficos a seguir:

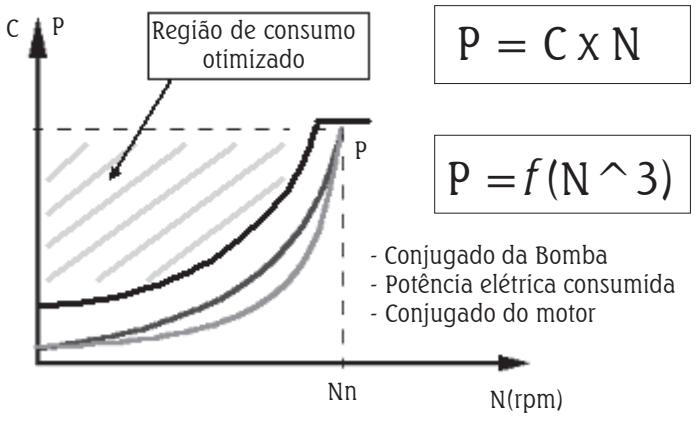


Figura 7.19 - Controle U/F (conjugado e potência) utilizando inversores de freqüência em sistemas de bombeamento

O ajuste da função U/F pode ser ajustado de maneira diferente em cada uma das linhas de inversores da WEG. Para a família dos inversores de freqüência da linha CFW08, basta o usuário alterar o ***(parâmetro "202" (P202) para o valor "1" (P202=1) habilitar a curva U/F quadrática).*** Para a família do CFW09, este ajuste é um pouco mais complexo, é preciso alterar o ***(Valor do parâmetro "202" (P202) para "2" (P202=2) habilitar a curva U/F ajustável)*** e em seguida alterar os ***(parâmetros de "142" até "146")*** com os valores descritos na tabela a seguir:

Parâmetro	Função do Parâmetro	Ajuste recomendado
P142	Tensão Máxima	100% Un
P143	Tensão Intermediária	30% Un
P144	Tensão em 3Hz	8% Un
P145	Vel. de início de enfr. de campo	Velocidade nominal do Motor
P146	Velocidade intermediária	½ da Vel. nominal do motor

- **Função (PID) proporcional integral e derivativo**

Esta função tem o objetivo de evitar oscilações na velocidade do motor ao acionar um sistema de bombeamento, mantendo a variável do processo (Pressão e Vazão) o mais estabilizada possível.

Para este sistema funcionar corretamente é necessário incorporar ao sistema de bombeamento um sensor analógico de pressão ou vazão, que envia ao inversor de freqüência um sinal de corrente (0/4 – 20mA) ou tensão (0 – 10Vcc).

A família de inversores de freqüência da WEG reconhece quaisquer dos sinais acima citados para realizar o controle da pressão ou vazão do sistema.

Porém o tipo de sinal mais utilizado pelos usuários dos inversores de freqüência WEG é o sinal analógico de corrente, de (4 – 20mA), apesar dos sensores com saída analógica de corrente de (4 – 20mA) serem mais caros que os outros sensores com saída analógica de (0 – 10Vcc) ou (0 – 20mA).

Este fato ocorre por motivo da segurança do sistema. Pois se houver um rompimento nos cabos de saída do sensor para o inversor de freqüência, o mesmo pode entender que a pressão ou a vazão do sistema esta no mínimo. Dessa forma o inversor de freqüência vai acelerar o motor até a velocidade máxima, e caso não exista consumo do sistema de bombeamento, pode haver um rompimento das tubulações.

Ao utilizar um sensor com saída analógica de corrente de (4 – 20ma) e houver um rompimento dos cabos de saída do sensor para o inversor de freqüência, o sinal automaticamente cai para o valor zero.

Caso este fato ocorrer, os inversores de freqüência da linha WEG possuem uma função especifica nas saídas digitais, para fechar o contato, caso a corrente que o inversor de freqüência recebe na entrada analógica, sair da faixa de trabalho de (4 – 20mA), podendo acionar um alarme, ou até mesmo desligar todo o sistema.

Para entender melhor o sistema (P.I.D.) podemos demonstrar a configuração típica de um sistema de bombeamento com controle de pressão ou vazão através do regulador (P.I.D.) superposto no software de funcionamento dos inversores da linha WEG, conforme diagrama a seguir:

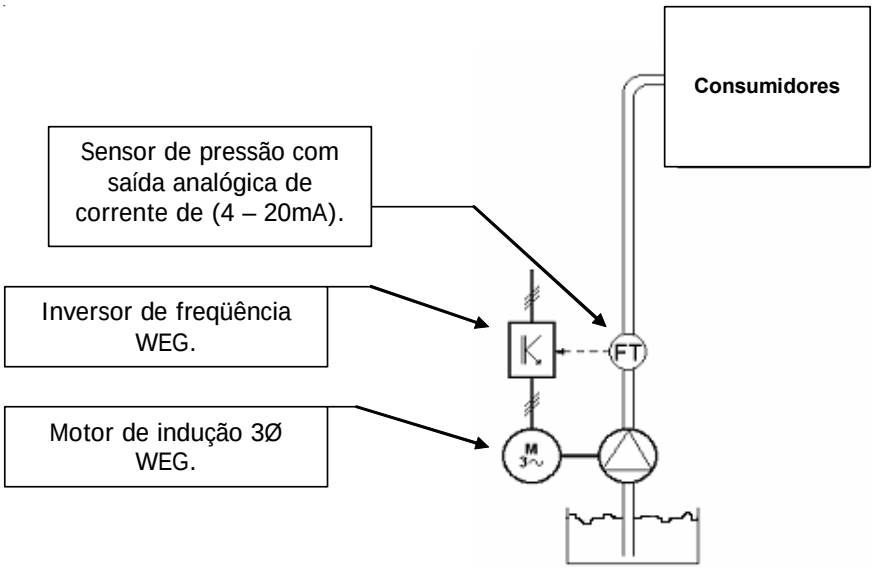


Figura 7.20 - Configuração típica PID

Vamos imaginar que o sensor incorporado ao sistema demonstrado acima, seja capaz de medir de ***"0 até 100mca"*** de pressão, e o inversor de frequência ao acionar o motor na máxima velocidade máxima, gera no sistema uma pressão de ***"75mca"***. Porém o ponto ideal do sistema de bombeamento é a ***"50mca"*** e somente em casos críticos com todos consumidores acionados, o nosso inversor de freqüência chegará a acionar o motor na velocidade máxima.

Nesta situação obrigatoriamente precisamos utilizar a função (P.I.D.) incorporada aos inversores de freqüência da WEG, pois mesmo se houver o consumo máximo do sistema, o sensor de pressão nunca enviará ao inversor de freqüência um sinal de ***"20mA"*** para acelerar inversor de freqüência até a velocidade máxima. Dessa maneira em alguns momentos nosso sistema poderá ficar com falta de pressão para o funcionamento correto.

Porém se o usuário do sistema ativar a função (P.I.D.) superposta ao processador dos inversores de freqüência da WEG, o sistema passa a funcionar da seguinte maneira:

- Deve ser ajustado o ***"set point"*** do sistema para a pressão ideal de trabalho, como já citado acima ***"50mca"***. Neste caso os consumidores do sistema podem alterar a demanda de consumo o tempo todo, que se a pressão aumentar ou baixar de ***"50mca"*** o inversor de freqüência responde automaticamente aumentando ou diminuindo a velocidade do motor de acordo com a necessidade do sistema. Podendo esta velocidade variar entre a máxima e a mínima ou até mesmo desligar o sistema caso o mesmo permaneça pressurizado.

Considerando o sistema citado como exemplo. Podemos ativar a função (P.I.D.) dos inversores WEG simplesmente alterando o ***(parâmetro "203" (P203) para o valor "1"),*** ou seja, ***(P203=1)***, ao ativar este parâmetro, vai aparecer na lista de parâmetros do inversor de freqüência os ***(parâmetros de "520"*** até ***"536") (P520 até***

P536). Que devem ser ajustados para o correto funcionamento do sistema.
Para facilitar o entendimento do usuário, colocamos os parâmetros e os valores recomendados para o ajuste fino do sistema citado como exemplo, na tabela a seguir.
Mas antes, é necessário uma explicação do funcionamento do sistema.

Neste sistema como já citado acima, a pressão ideal para o funcionamento é de ***"50mca"***, o inversor de freqüência WEG vai receber um sinal analógico de (4 – 20mA) do sensor de pressão que esta instalado dentro da tubulação.

Ao variar o consumo, varia também a pressão dentro da tubulação, ao diminuir esta pressão, o inversor de freqüência vai detectar a queda automaticamente por causa do sinal analógico que vem do sensor e esta ligado na entrada analógica AI2 do mesmo. O inversor de freqüência vai aumentar a velocidade do motor que aciona a bomba até a pressão ser estabilizada dentro dos ***"50mca"*** ideal para o sistema.

Em sistemas de bombeamento de fluídos, ao aumentar ou diminuir a velocidade da bomba, a pressão aumenta ou diminui diretamente proporcional.

Caso o consumo diminuir, e a pressão aumentar dentro da tubulação, o sensor detecta este aumento de pressão e altera o sinal que esta enviando ao inversor de freqüência, este por sua vez vai baixar a velocidade do motor que aciona a bomba. Para diminuir a pressão dentro da tubulação, até 25% da velocidade nominal, pois nesta velocidade a bomba instalada já não produz nenhuma vazão no sistema.

Dessa forma o inversor de freqüência vai contar 5 segundos e se o consumo não aumentar, ele vai desligar o sistema até que o consumo aumente.

Parâmetro	Função do Parâmetro	Ajuste recomendado
P203*	Seleção de Funções Especiais*	1
P211*	Bloqueio por N=0*	1*
P212*	Condição para Saída de Bloqueio por N=0*	0*
P213*	Tempo com Velocidade Nula*	5(s)
P237*	Função da Entrada AI2*	3*
P239*	Sinal Entrada AI2	1*
P265*	Função da Entrada digital DI3*	15*
P520*	Ganho Proporcional PID*	1
P521*	Ganho Integral PID*	0.043
P522*	Ganho Diferencial PID*	0
P523*	Tempo Rampa PID*	3
P524*	Seleção da Realimentação do PID*	0
P525*	Setpoint PID*	50%*
P527*	Tipo de ação*	0 (Direto)*
P291*	Velocidade N=0*	25%*
P535*	Saída N=0 PID*	25%*
P536*	Ajuste Automático de P525*	1*

(*)**Obs.:** Estes parâmetros tem um ajuste diferente para cada tipo de sistema.
O valor expresso na tabela atende a necessidade do sistema de exemplo.

No parâmetro "P040" dos inversores WEG, podemos visualizar a variável do processo em porcentagem, porém na família do CFW09, podemos alterar este parâmetro e visualizar esta variável como pressão, vazão, temperatura e etc.

No caso do sistema citado como exemplo, o usuário, pode visualizar no ***"P040"*** a pressão variando na tubulação diretamente em ***"mca" (metros coluna d'água)***, por exemplo.

Outra vantagem da família do CFW09, é que sua entrada analógica pode reconhecer sinais de (–10 até 10Vcc) ou (–20 até 20mA), podendo atender algumas aplicações onde não é possível utilizar a família do CFW08.

7.4.2 Sistemas de Ventilação

Neste capitulo, veremos a aplicação de inversores de freqüência em sistemas de ventilação. O intuito da WEG é demonstrar as vantagens na utilização dos inversores de freqüência nos sistemas de ventilação.

Vale lembrar que nos sistemas de ventilação, são utilizados ventiladores e exaustores, porém os aspectos técnicos que serão citados neste capitulo, valem para os dois.

O que distingue basicamente um ventilador de um exaustor é o sentido em que o ar passa pelo sistema em que eles estão aplicados, se a máquina esta retirando o ar do sistema ela é um exaustor, se esta insuflando o ar para o sistema é um ventilador.

7.4.2.1 Definições

São definidos como geradores de fluxo que trabalham com fluido no estado gasoso, provocando uma diferença de pressão inferior a 0,20 [kgf/cm2].

Portanto com essa diferença de pressão, a massa especifica do fluido praticamente não se altera. Desta forma os ventiladores são considerados máquinas de fluxo hidráulicas.

Vale ressaltar que aproximadamente 40% dos motores elétricos utilizados nas indústrias, são aplicados em algum tipo de bomba ou ventilador.

7.4.2.1 Classificação

Os ventiladores / exaustores podem ser classificados de diversas maneiras, mas as classificações mais comuns são de acordo com a pressão de operação ou a forma construtiva.

De acordo com a pressão eles são classificados da seguinte maneira:

Baixa pressão: $p \leq 0{,}02 \frac{kgf}{cm^2}$ *ou* $p \leq 200mmCA$

Média pressão: $0{,}02 \frac{kgf}{cm^2} < p \leq 0{,}08 \frac{kgf}{cm^2}$ *ou* $200mmCA < p \leq 800mmCA$

Alta pressão: $0{,}08 \frac{kgf}{cm^2} < p \leq 0{,}2 \frac{kgf}{cm^2}$ *ou* $800mmCA < p \leq 2000mmCA$

De acordo com a forma do rotor eles são classificados da seguinte maneira:

- Centrífugos ou radiais;
- Fluxo misto;
- Axiais.

Os ventiladores Centrífugos operam pequenas vazões e grandes pressões. Os ventiladores Mistos operam médias vazões e medias pressões. Os ventiladores Axiais operam grandes vazões e pequenas pressões. A figura a seguir mostra os desenhos dos rotores dos ventiladores ***Centrífugo (A)***, ***Misto (B)*** e ***Axial (C)***.

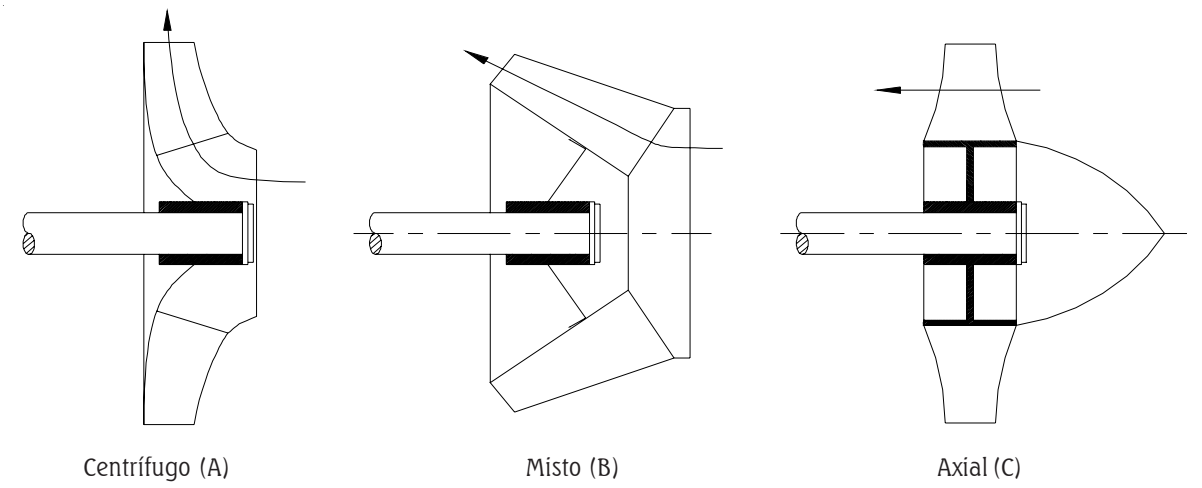


Figura 7.21 - Tipos de ventiladores

A figura a seguir ilustra os tipos de rotores dos ventiladores existentes de um fabricante nacional (Aerovento Equipamentos industriais).

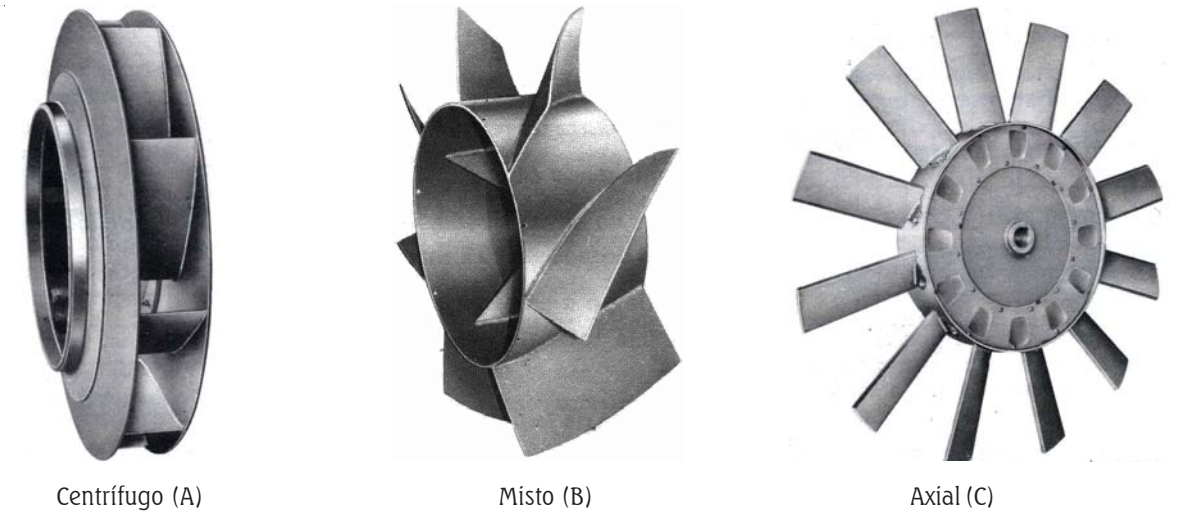


Figura 7.22 - Tipos de ventiladores

De acordo com o modo de entrada do fluido no rotor são classificados da seguinte maneira:

- Simples sucção;
- Dupla sucção.

O Rotor de simples sucção tem apenas uma entrada de fluído, enquanto o de dupla sucção, denominado de rotor gêmeo, apresenta duas entradas e opera o dobro da vazão. A figura abaixo ilustra os rotores simples e de dupla sucção.

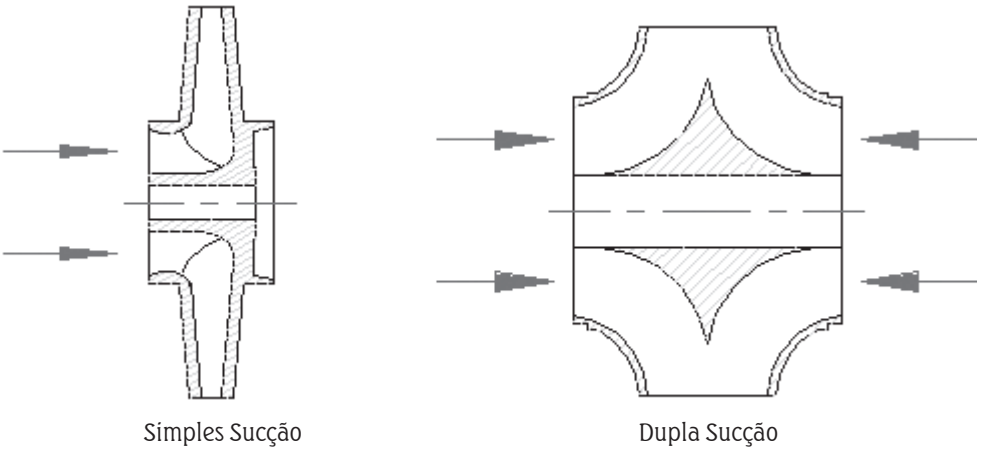


Figura 7.23 - Formas de sucção dos ventiladores

De acordo com a posição das pás do rotor eles são classificados da seguinte maneira:

- Pás curvadas para traz;
- Pás retas;
- Pás curvadas para frente.

As figuras a seguir, ilustram os tipos de pás dos ventiladores, esta variação no ângulo das pás dos ventiladores altera o rendimento e o ruído gerado pelo ventilador, de acordo com a necessidade, podemos escolher qual deles melhor nos atende.

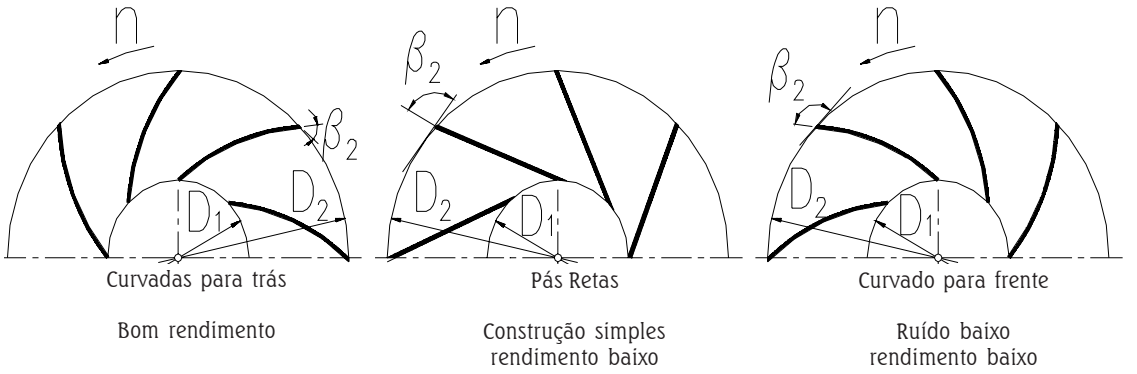


Figura 7.24 - Posição das Pás do rotor

O Rotor de pás curvadas para frente, apresenta um baixo rendimento, mas quando é construído com muitas pás ***(Ventilador Síroco)*** permite operar vazões de ar maiores com baixas rotações, por este motivo, são utilizados em instalações de ar condicionado.

● CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES

Vazão volumétrica

É o volume de ar ventilado em um segundo. No sistema internacional, tem-se a unidade m^3/s. A vazão nominal é aquela para a qual o ventilador

foi especificado e considera-se, neste caso, o ponto de máximo rendimento.

Pressão

Pressão estática: É a pressão manométrica em um determinado ponto do escoamento

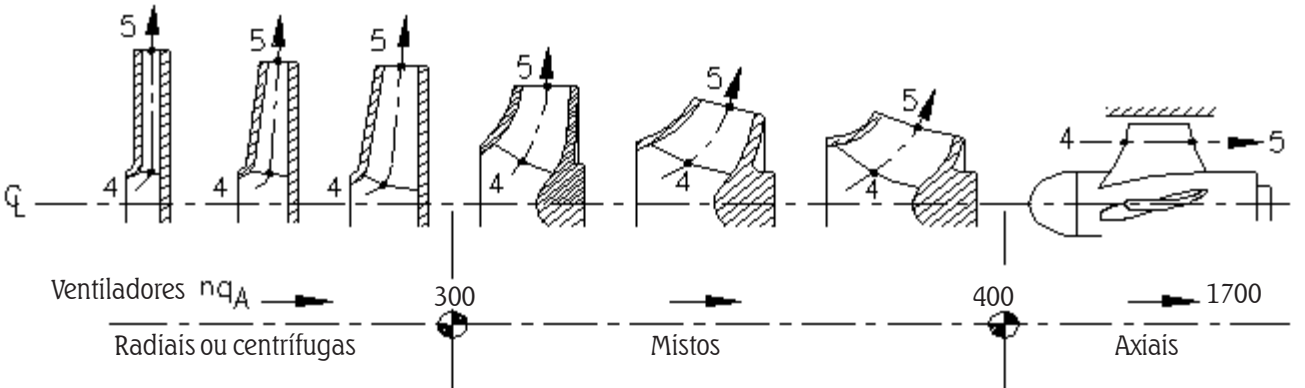
Pressão dinâmica: É a pressão devido à velocidade em um determinado ponto do escoamento

Pressão total: É a soma algébrica da estática mais a dinâmica

As unidades de medida de pressão mais comuns de se encontrar em gráficos de ventiladores é o Newton por metro quadrado ***(N/m²)***, milímetros coluna d'água ***(mmcA)*** ou metros coluna d'água ***(mcA)***.

• ROTAÇÃO ESPECIFICA DOS VENTILADORES

A rotação específica é uma grandeza que define a geometria ou o tipo de rotor do ventilador mais adequado, no sistema internacional tem-se:



$$nq_A = \frac{10^3 \cdot n \cdot \sqrt{\dot{V}}}{\left(\frac{\Delta p_t}{\rho}\right)^{3/4}}$$

$$nq_A[1];\ n[rps];\ \dot{V}[m^3/s];\ \Delta p_t[N/m^2];\ \rho[kg/m^3]$$

p [Kg/m³]	Massa específica do fluído,
Δ Pt[N/m²]	Diferença de pressão total,
Q[m³/s]	V azão V olumétrica,
n[rps]	Rotação,

Figura 7.25 - Rotação específica dos ventiladores

• CURVAS CARACTERÍSTICAS DOS VENTILADORES

As curvas características dos ventiladores têm um comportamento diferente para cada tipo. A figura a seguir mostra as curvas características dos ventiladores ***centrífugos*** de pás curvadas para trás, ventiladores de ***fluxo misto*** e os ***axiais***.

Essas curvas representam o comportamento da diferença de pressão total, da potência de eixo e do rendimento total do ventilador versus a vazão volumétrica, operando com rotação constante.

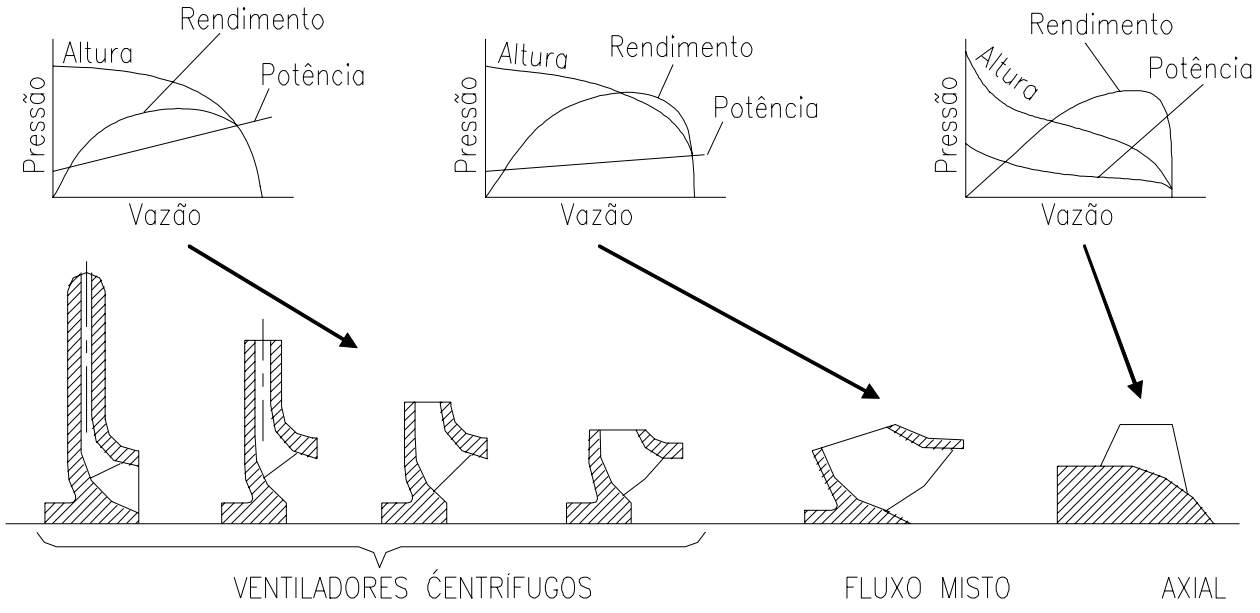


Figura 7.26 - Curvas características dos ventiladores

As curvas dos ventiladores mostram ao projetista uma série de informações que ajudam na especificação do ventilador ideal para o sistema de ventilação.

Uma informação importante que podemos tirar ao analisar esta curva é a do melhor modo que devemos colocar as válvulas de saída dos ventiladores (abertas ou fechadas), para proteção do motor elétrico que aciona o ventilador.

De acordo com o modelo do ventilador especificado, recomendamos que a partida seja realizada da seguinte maneira:

Ventiladores Centrífugos ou radiais: Válvulas fechadas.

Ventiladores Fluxo misto: Válvula aberta ou fechada.

***Ventiladores* Axiais:** Válvula aberta.

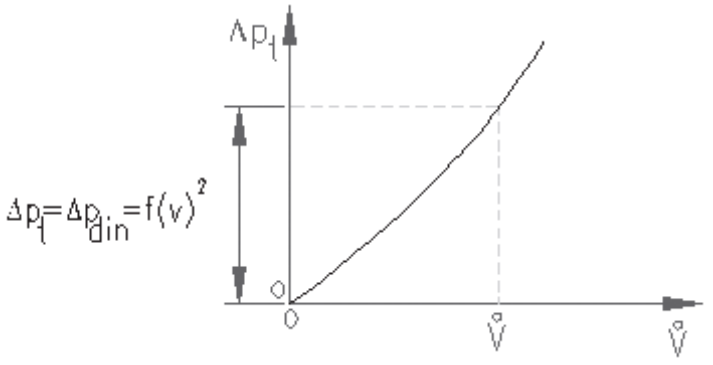
É importante enfatizar que mesmo que o motor possua todas as proteções adequadas, este procedimento garante um consumo menor de energia elétrica.

Podemos também ressaltar que o procedimento de fechamento das válvulas é importante para ser utilizado nos métodos de partida direta; Estrela-Triângulo ou com chave de partida eletrônica suave.

Se o acionamento do motor é feito por um inversor de freqüência as curvas demonstradas acima são alteradas, dispensando o uso do procedimento de fechamento das válvulas.

• CURVA CARACTERÍSTICA DA INSTALAÇÃO

A diferença de pressão total é função do quadrado da velocidade ou do quadrado da vazão. Portanto, neste caso, a diferença de pressão total esta na forma de pressão dinâmica.



$$\Delta Pt = p.\frac{V^2}{2A^2} + p\,.\,g\,.\,Hp = f\,(v^2)$$

p [Kg/m³]	Massa específica do fluído,
Δ Pt[N/m²]	Diferença de pressão total,
V [m³/s]	V azão V olumétrica,
A [m²]	Área daseção,
g [m/s²]	Aceleração da gavidade,
H_p [m]	Perda de carga.

Figura 7.27 - Curva característica da instalação

Cabe ao projetista especificar corretamente o ventilador que vai acionar o sistema, o Projetista deve selecionar o ponto ideal de rendimento, potência e vazão do ventilador para o sistema. A seguir vamos sobrepor a curva de um ventilador sobre a curva do sistema citado.

É importante ressaltar que nesta análise, consideramos que o ventilador não vai sofrer variação de rotação, caso seja necessário variar a velocidade do ventilador o projetista deve especificar um ventilador que melhor atenda os pontos de trabalho do sistema.

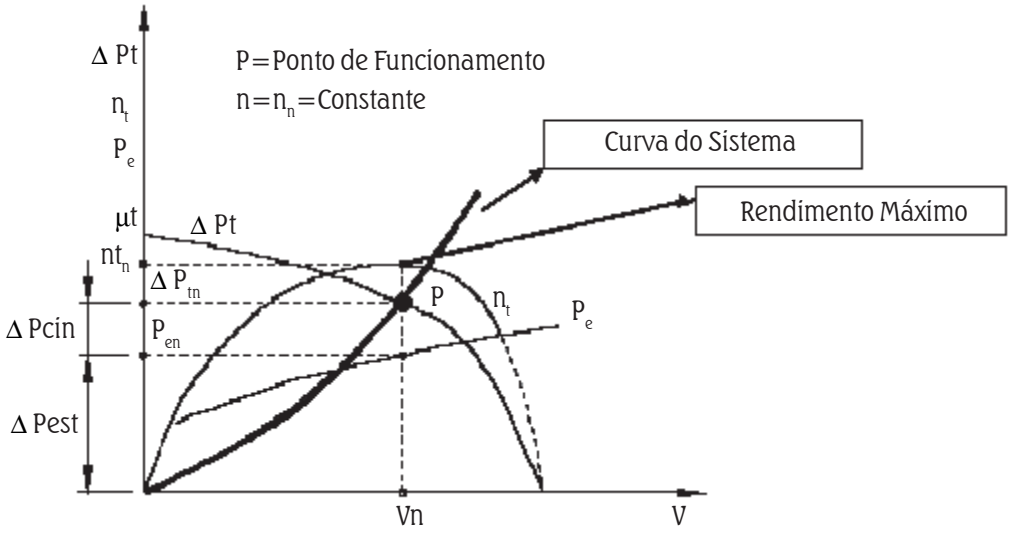
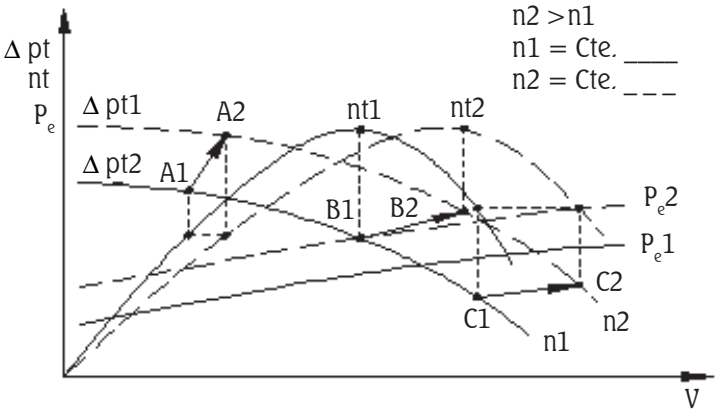


Figura 7.28 - Ponto de trabalho do sistema

Quando alteramos a rotação de um ventilador a curva do mesmo, se altera como podemos ilustrar na figura abaixo:



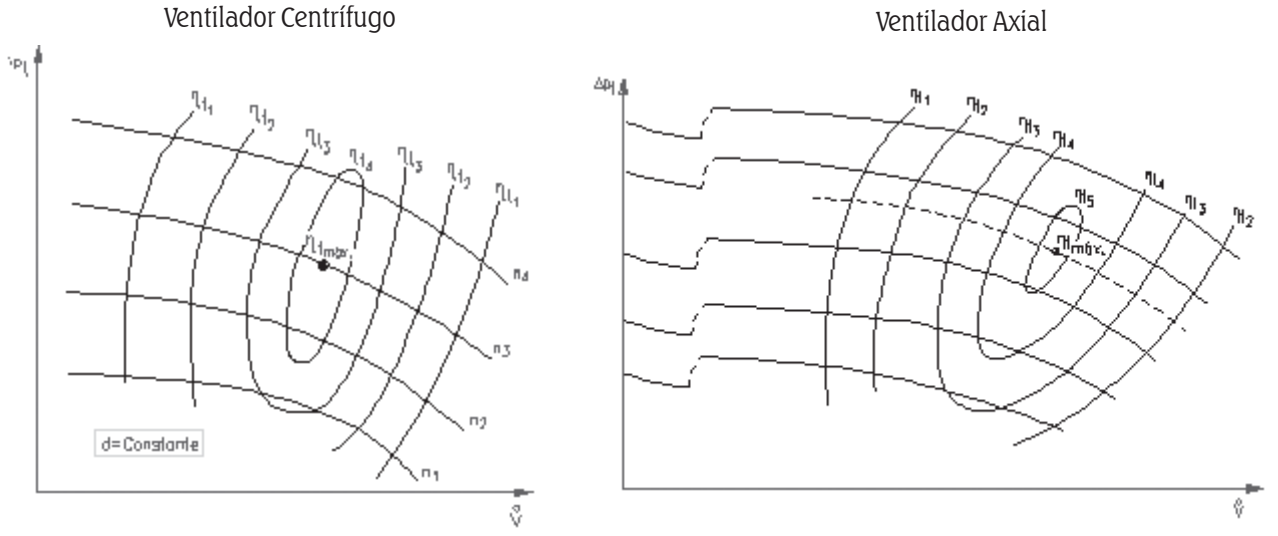
Pontos A1 . B1 . C1 são homólogos respectivamente a A2 . B2 . C2

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad ; \quad \frac{\Delta p_{t2}}{\Delta p_{t1}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad ; \quad \frac{Pe_2}{Pe_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Figura 7.29 - Pontos de trabalho para diferentes rotações

A alteração de rotação pode acarretar alterações no rendimento e escoamento do ventilador, para se obter os valores dos rendimentos e escoamento de um ventilador é necessário realizar ensaios em bancadas de testes em laboratórios especializados.

O diagrama obtido nestes ensaios sempre apresenta um padrão que pode ser visto na figura a seguir, as únicas alterações nos gráficos de um ventilador para outro são as alterações nos valores medidos



$\eta_{t_1};\eta_{t_2};\cdots\eta_{t_{máx}} \Rightarrow$ **curvas de mesmo rendimento**

$n_1;n_2;\cdots n_4 \Rightarrow$ **curvas de mesma rotação**

Figura 7.30 - Curvas de rendimento dos ventiladores de acordo com a vazão e rotação

As curvas expressas acima, são conhecidas também como ***"curvas de colina"*** com ela conseguimos identificar o rendimento dos ventiladores de acordo com a vazão e a rotação. Em sistemas de bombeamento de fluidos, também podemos traçar curvas semelhantes e retirar as informações de rendimento das bombas de acordo com vazão, pois bombas e ventiladores tem um comportamento muito semelhante no desempenho, no rendimento e no aspecto de economia de energia.

• SISTEMA DE VENTILAÇÃO COM CONTROLE DE PRESSÃO E VAZÃO

Assim como acontece em sistemas de bombeamento, a grande maioria dos sistemas de ventilação não necessitam de variação da vazão e da pressão de escoamento, para estes casos podemos utilizar simplesmente um sistema com partida/parada eletrônica suave (Soft-Starter).

Vale ressaltar que os ventiladores são máquinas girantes de alta inércia e o dimensionamento tanto do motor que vai acionar o ventilador quanto do método de partida que este motor vai utilizar necessitam de uma analise mais criteriosa. Ao utilizar uma partida eletrônica para acionamento do motor do ventilador, é comum na maioria dos casos superdimensionar a chave de partida eletrônica em até 200% da corrente nominal do motor. Este fato não ocorre com o dimensionamento dos inversores de freqüência, em alguns casos podemos considerar um inversor de freqüência até ***20% menor*** que a corrente do motor, pois ao baixar a rotação do ventilador a corrente do motor também diminui, baixando a corrente media consumida da rede.

Porém nos sistemas onde precisa ser controlada alguma variável do processo (Pressão, Vazão, Temperatura e etc.) a aplicação de inversores de freqüência no acionamento dos ventiladores traz grandes vantagens ao usuário.

Este controle da vazão e da pressão do sistema de ventilação pode ser feito de diversas maneiras, porém apenas três deles são utilizados com maior freqüência. Podemos reduzir a vazão e a pressão do sistema instalando aletas reguláveis na entrada do rotor, variando o ângulo das pás do rotor ou variando a velocidade do ventilador utilizando um inversor de freqüência no acionamento do motor que aciona o ventilador.
Das três maneiras citadas acima, a utilização de um inversor de freqüência para variar a velocidade do ventilador é o método que traz maior vantagem ao usuário, pois neste método temos uma redução controlada da potência elétrica do motor e um ajuste fino na variável do processo (Pressão, Vazão, Temperatura e etc.).
As figuras a seguir ilustram os métodos mais comuns de controle de vazão e pressão em sistemas de ventilação:

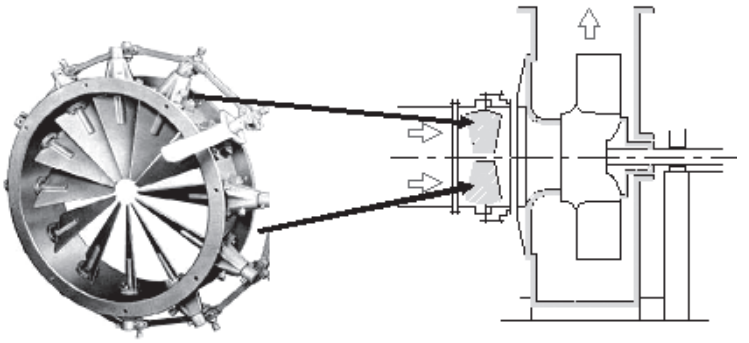
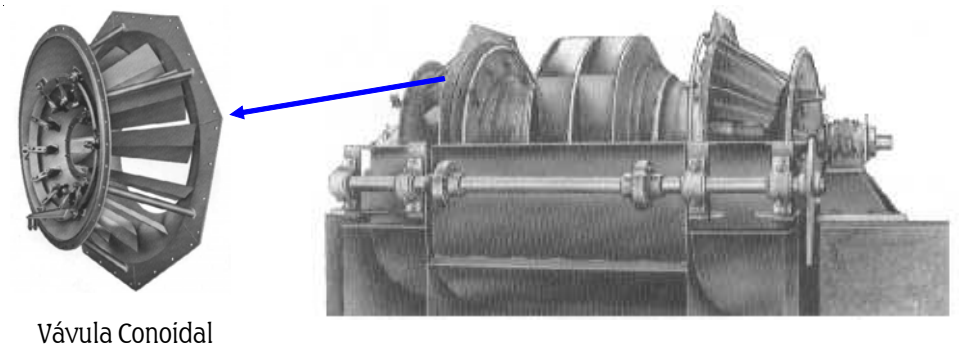
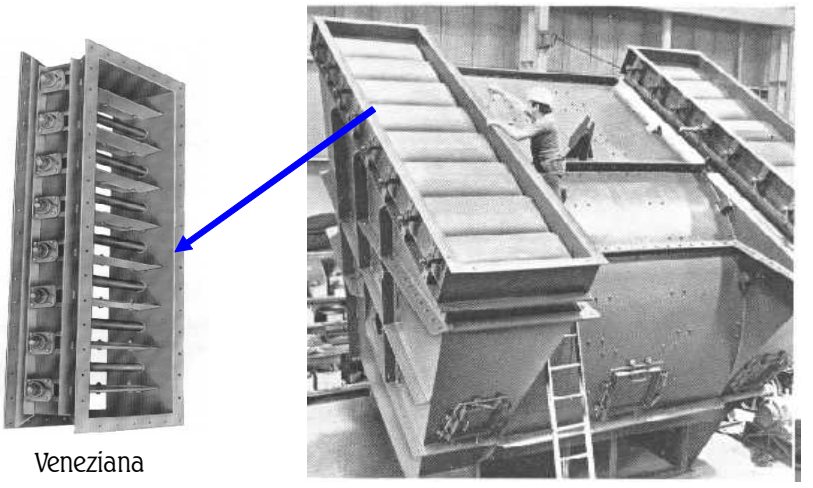


Figura 7.31 - Rotor duplo com controle da vazão através de duas válvulas conoidais



Vávula Conoidal

Figura 7.32 - Ventilador centrífugo com controle de vazão de duas válvulas venezianas



Veneziana

Figura 7.33 - Efeito da abertura e fechamento de válvula na entrada do rotor do ventilador na curva de carga do sistema.

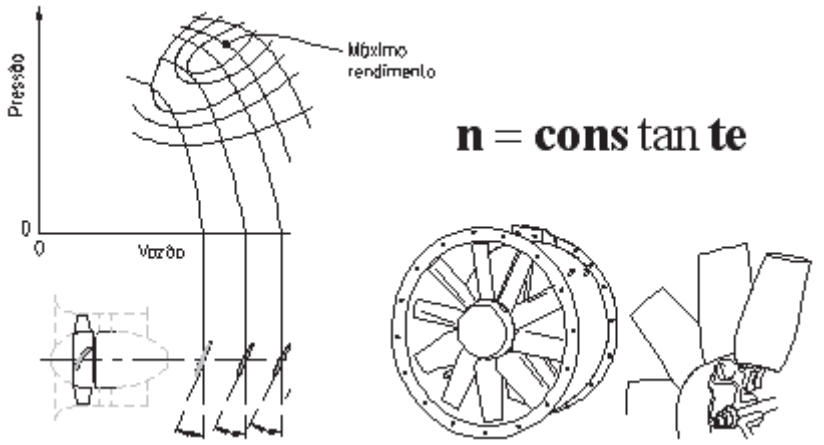


Figura 7.34 - Controle de pressão e vazão do ventilador em função do ângulo das pás

Sistemas de ventilação

Vamos imaginar um sistema onde precisamos manter uma estufa com uma temperatura constante, porém existe um rodízio do material dentro da estufa, e cada vez que este material aquecido é trocado por um mais frio, a temperatura dentro da estufa cai e para que ela aqueça mais rapidamente, é necessário uma redução do volume de ar insuflado para dentro da estufa.

A seguir esta um desenho ilustrativo do sistema citado acima:

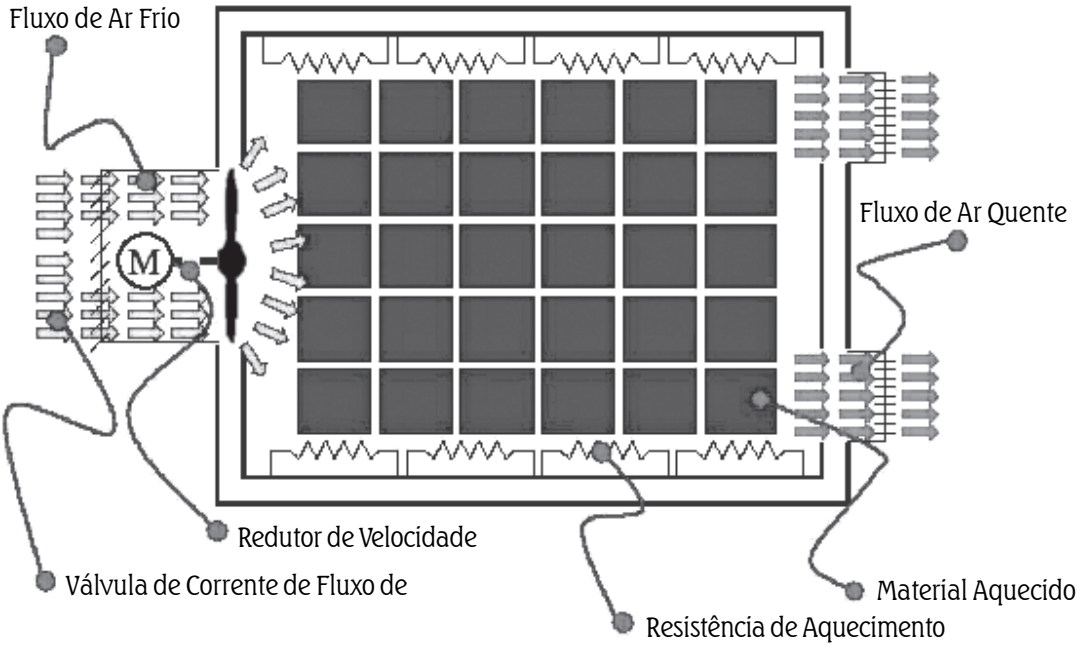


Figura 7.35 - Estufa sem controle de velocidade

Para o controle do ar insuflado para a estufa, temos uma válvula instalada na entrada do rotor do ventilador, alterando o fluxo de acordo com a temperatura do sistema. Neste método de controle de fluxo, não existe redução no consumo da potencia elétrica consumida, pois ao fechar a válvula na entrada do rotor do ventilador, inserimos uma carga ao sistema e alteramos a curva do sistema como mostrado no diagrama abaixo.

Desta forma não existe redução de consumo de energia elétrica

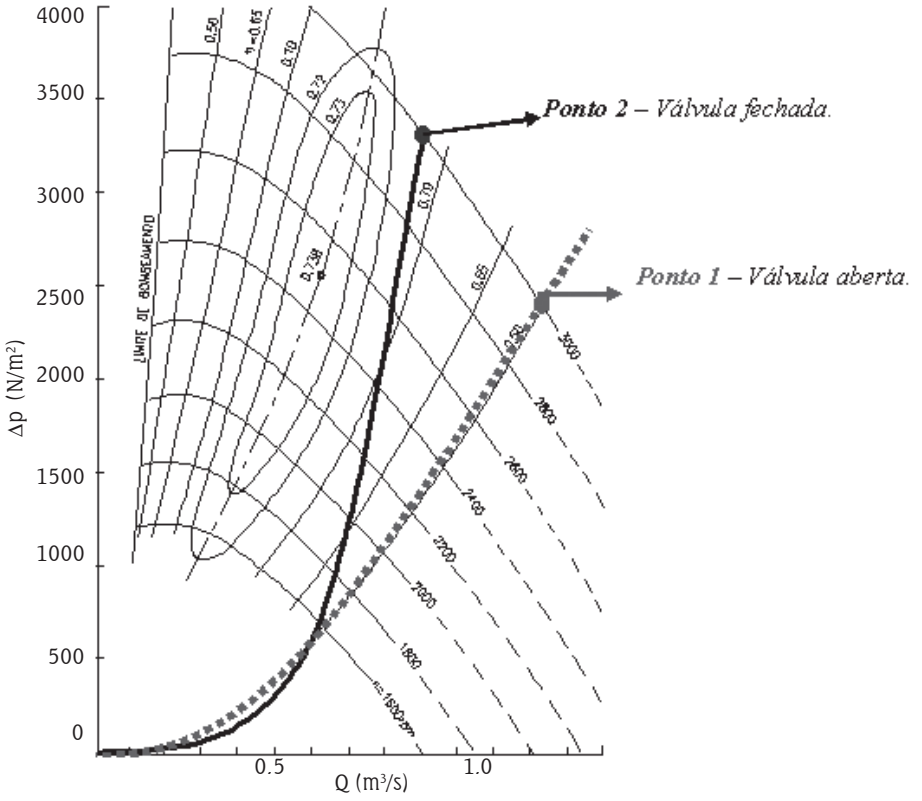


Figura 7.36 - Gráfico de pressão por vazão da estufa sem controle de velocidade

Podemos calcular o consumo de energia elétrica utilizando a formula descrita abaixo.

$$P_{el_A} = \frac{\dot{V}_2 . \Delta p_{t2}}{\eta_t . \eta_{el}}$$

P_{ela2} [Kg/m³]	Potência elétrica consumida no ponto 2,
ΔP_{t2} [N/m²]	Diferença de pressão no ponto 2,
V [m³/s]	V azão Volumétrica,
n_t [%]	Rendimento do ventilador
n_{el} [%]	Rendimento do motor elétrico

Considerando que este sistema é acionado por um ventilador de mercado, e utiliza como acionamento um motor padrão WEG de II Pólos,

com rendimento de 0,85%. E que o sistema opera 24 horas por dia 30 dias por mês, mas no regime de operação temos que a cada 12 horas de operação ele passa 06 horas trabalhando com a válvula fechada reduzindo a vazão de ar para 70% da vazão nominal do ventilador.

Aplicando a formula acima citada, podemos calcular a potencia elétrica consumida neste sistema. Podemos concluir que no ***"ponto 1"*** com a válvula aberta o ventilador tem um consumo de 6,89kW e no ***"ponto 2"*** com a válvula fechada, temos um consumo de 5,14kW, esta redução de consumo é devido ao aumento do rendimento do ventilador quando esta operando com a válvula fechada.

Sistemas de ventilação com controle de velocidade

Agora vamos imaginar o sistema citado acima, porém ao invés de utilizar uma válvula de controle de vazão na entrada do rotor, vamos substituir por um controle de vazão através da variação da velocidade do ventilador utilizando um inversor de freqüência acionando o motor elétrico.

Podemos demonstrar esta alteração do sistema através da figura abaixo:

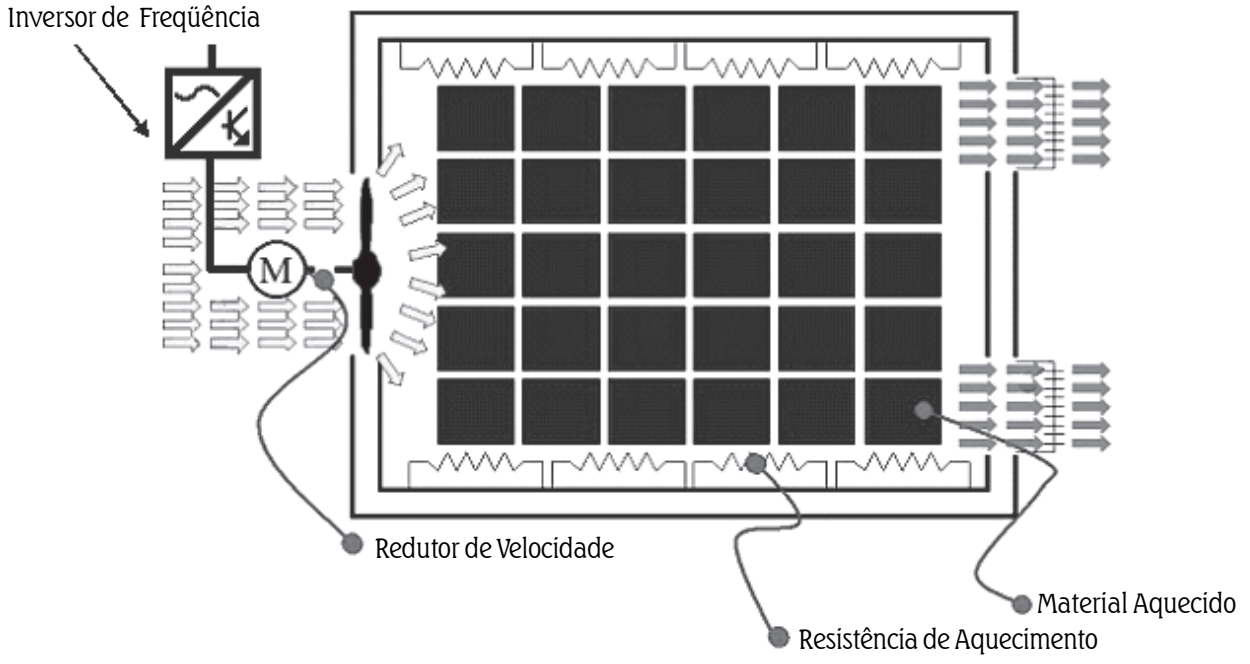


Figura 7.37 - Estufa com controle de velocidade

Ao alterar o método de controle de vazão, utilizando um inversor de freqüência, alteramos somente a curva do ventilador e mantemos a curva do sistema sem alterações, por este motivo temos novos pontos de consumo de energia elétrica. Podemos identificar estes novos pontos de operação no gráfico ilustrado abaixo:

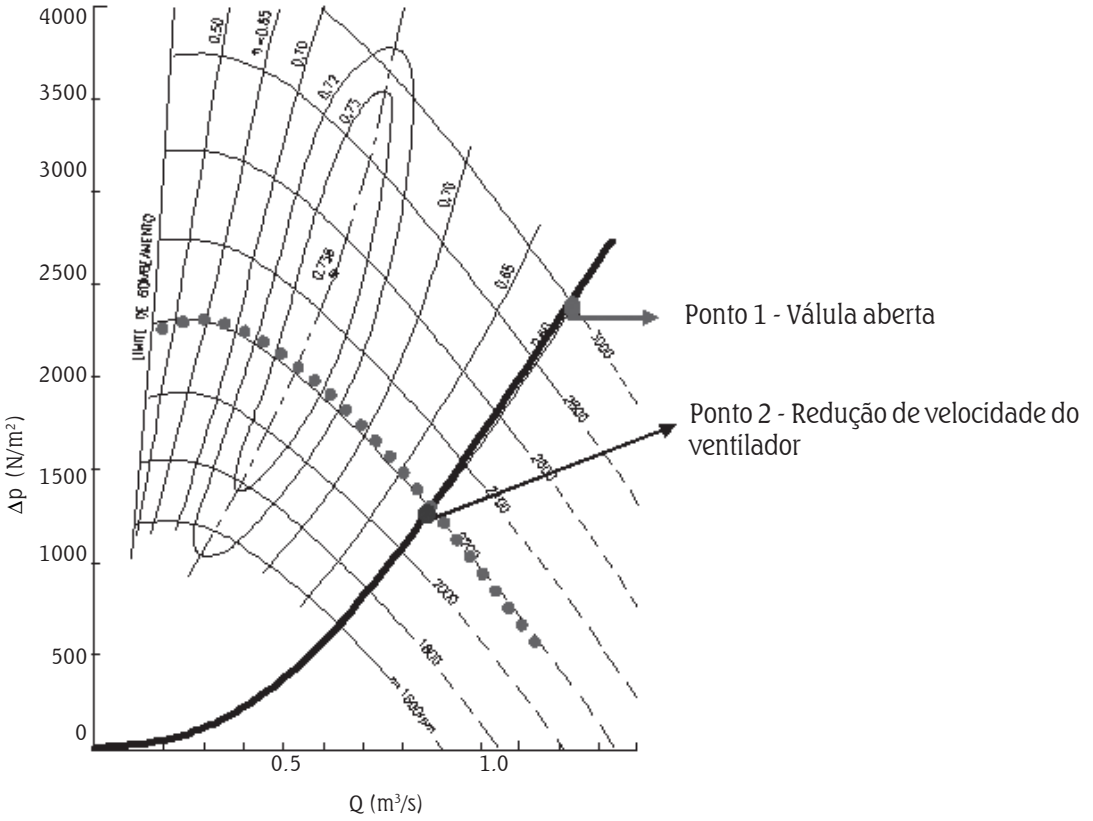


Figura 7.38 - Gráfico de pressão por vazão da estufa com controle de velocidade

Aplicando a formula para cálculo da potência elétrica consumida pelos ventiladores, podemos notar que o consumo no ***"ponto 1"*** não se altera, porém no ***"ponto 2"*** temos uma redução de consumo de 5,14kW para 2,96kW, uma redução do consumo de energia elétrica de ***42%***, comparado com o método de controle de vazão por válvula.

Considerando o ciclo de trabalho da estufa, temos uma redução no consumo de energia elétrica de 2,18kWh.

Em um ano de operação da estufa, considerando o kWh ao valor de R$0,15 temos uma economia de R$1.412,64 ao substituir o a válvula de controle de vazão por um inversor de freqüência no sistema de aquecimento da estufa.

Função Curva U/F quadrática
Esta função tem o objetivo de otimizar o consumo de energia elétrica do conjunto motor de indução mais inversor de freqüência ao acionar um sistema de ventilação. Para os sistemas de ventilação, temos o mesmo benefício da redução do consumo de energia elétrica, citado no capítulo de aplicação de inversores em sistemas de bombeamento (ver cap. 7.4.1).

Função (P.I.D.) Proporcional Integral e Derivativo
Esta função tem o objetivo de evitar oscilações na velocidade do motor ao acionar um sistema de ventilação, mantendo a variável do processo (Temperatura) o mais estabilizada possível.

Para este sistema funcionar corretamente é necessário incorporar ao sistema de ventilação um sensor analógico de temperatura, que envie ao inversor de freqüência um sinal de corrente (4 – 20mA).

Ao descrever os ajustes do sistema (P.I.D.) em sistemas de bombeamento (ver cap. 7.4.1), já foram explicados os motivos pelos quais os usuários preferem trabalhar com o sinal de corrente em sistemas analógicos.

Para explicar melhor o ajuste do o sistema (P.I.D.) superposto aos inversores WEG. Podemos utilizar o mesmo sistema de ventilação da estufa ilustrada acima conforme figura ilustrada no capítulo ***(VI. II).***

Vamos imaginar que dentro da estufa existe um sensor incorporado que seja capaz de medir de *"0 até 200ºC"* **de temperatura, porém a temperatura ideal de trabalho da estufa é a** "150ºC" **e precisa variar o mínimo possível.**

Nesta situação obrigatoriamente precisamos utilizar a função (P.I.D.) incorporada aos inversores de freqüência da WEG.

Se utilizarmos simplesmente o sinal analógico do sensor de temperatura sem habilitarmos o controle (P.I.D.) o inversor vai operar o ventilador na velocidade máxima somente quando a temperatura chegar aos *"200ºC"*, **essa temperatura alta pode danificar o material inserido na estufa.**

Pela descrição do funcionamento do sistema podemos notar que a estufa passa metade do tempo com o ventilador na máxima rotação. Porém se o usuário do sistema ativar a função (P.I.D.) superposta ao processador dos inversores de freqüência da WEG, o sistema passa a funcionar da seguinte maneira:

- Deve ser ajustado o ***"set point"*** do sistema para a temperatura ideal de trabalho, como já citado acima ***"150ºC". (aproximadamente 75% do sinal analógico enviado pelo sensor),*** Neste caso podemos utilizar a estufa de modo normal, que o inversor de freqüência responde automaticamente aumentando ou diminuindo a velocidade do motor de acordo com a necessidade do sistema. Podendo esta velocidade variar entre a máxima e a mínima ou até mesmo desligar o sistema caso o mesmo permaneça com a temperatura abaixo dos ***"150ºC"*** ideal para o sistema.

Considerando o sistema citado como exemplo. Podemos ativar a função (P.I.D.) dos inversores WEG simplesmente alterando o ***parâmetro "203" (P203) para o valor "1",*** ou seja, ***(P203=1)***, ao ativar este parâmetro, vai aparecer na lista de parâmetros do inversor de freqüência os ***parâmetros de "520"*** até ***"536" (P520 até P536)***. Que devem ser ajustados para o correto funcionamento do sistema.

Para facilitar o entendimento do usuário, colocamos os parâmetros e os valores recomendados para o ajuste fino do sistema citado como exemplo, na tabela a seguir.

Mas antes, é necessária uma explicação do funcionamento do sistema. Neste sistema como já citado acima, a temperatura ideal é de ***"150ºC"***, o inversor de freqüência WEG vai receber um sinal analógico de (4 – 20mA) do sensor de temperatura que esta instalado dentro da estufa.

Ao trocar o material da estufa a temperatura diminui, o inversor de freqüência vai detectar a queda de temperatura e automaticamente, por causa do sinal analógico que vem do sensor e esta ligado na entrada analógica AI2 do mesmo.

O inversor de freqüência vai baixar a velocidade do motor que aciona o ventilador até a temperatura ser estabilizada dentro dos ***"150ºC"*** ideal para o sistema.

O controle de temperatura através da variação do ar insuflado ao sistema, ao aumentar ou diminuir a velocidade do ventilador, a temperatura aumenta ou diminui inversamente proporcional.

Caso o material estiver frio e a temperatura interna da estufa diminuir, o sensor detecta esta queda da temperatura e altera o sinal que esta enviando ao inversor de freqüência, este por sua vez vai baixar a velocidade do motor que aciona o ventilador, para aumentar a temperatura dentro da estufa. Caso a temperatura continuar a diminuir e o ventilador passar a operar com menos de 50% da velocidade nominal do motor.

O inversor vai contar 5 segundos, desligar o sistema, até que a temperatura volte a variar. Caso o material inserido aqueça e a temperatura da estufa voltar a subir. O sensor vai alterar o sinal enviado ao inversor de freqüência, se a temperatura ultrapassar o setpoint de ***"150ºC"*** a velocidade do ventilador vai aumentar até chegar na velocidade máxima do ventilador.

Parâmetro	Função do Parâmetro	Ajuste recomendado
P203*	Seleção de Funções Especiais*	1
P211*	Bloqueio por N=0*	1*
P212*	Condição para Saída de Bloqueio por N=0*	0*
P213*	Tempo com Velocidade Nula*	5(s)
P237*	Função da Entrada AI2*	3*
P239*	Sinal Entrada AI2	1*
P265*	Função da Entrada digital DI3*	15*
P520*	Ganho Proporcional PID*	2
P521*	Ganho Integral PID*	0.004
P522*	Ganho Diferencial PID*	0
P523*	Tempo Rampa PID*	3
P524*	Seleção da Realimentação do PID*	0
P525*	Setpoint PID*	75%*
P527*	Tipo de ação*	1 (Reverso)*
P291*	Velocidade N=0*	50%*
P535*	Saída N=0 PID*	50%*
P536*	Ajuste Automático de P525*	1*

(*)**Obs.:** Estes parâmetros tem um ajuste diferente para cada tipo de sistema.
O valor expresso na tabela atende a necessidade do sistema de exemplo.

No parâmetro "P040" dos inversores WEG, podemos visualizar a variável do processo em porcentagem, porém na família do CFW09, podemos alterar este parâmetro e visualizar esta variável como pressão, vazão, temperatura e etc.

No caso do sistema citado como exemplo, o usuário, pode visualizar no ***"P040"*** a temperatura variando diretamente em ***"ºC" (Graus Celsius)***, por exemplo.

Outra vantagem da família do CFW09, é que sua entrada analógica pode reconhecer sinais de (–10 até 10Vcc) ou (–20 até 20mA), podendo atender algumas aplicações onde não é possível utilizar a família do CFW08.

Conversão de Unidades

1m H_2O=0,0999 kgf/cm^2=0,09806bar=1,42229psi

7.4.3 Ar-Condicionado (Sistemas de Chiller à Água)

7.4.3.1 Definições

Os chillers à àgua são utilizados freqüentemente em sistemas de ar-condicionado central e processos de resfriamento. Eles resfriam a água que será transportada por um sistema de bombeamento através de tubulações. A água passa pelo tudo dos resfriadores para refrigerar o ar que passa nos ventiladores do processo de ar-condicionado. Sistemas com este tipo de solução são comumente chamados de Sistemas de Chiller à Água.Um dos pontos mais importantes quando estamos projetando um sistema de Chiller à água é a determinação do tipo que utilizaremos.

Dentre eles destacamos dois mais importantes, que são os Chillers por Absorção e Compressão de Vapor, onde podemos notar a diferença no ciclo de refrigeração

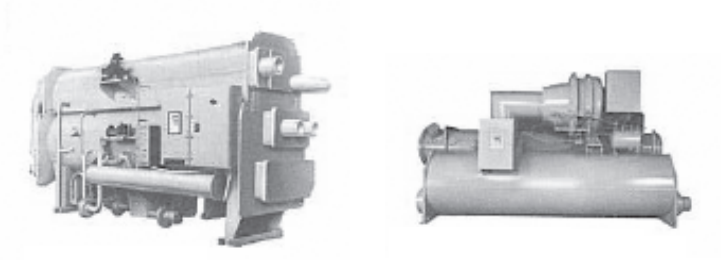


Figura 7.39 - Chillers

Os Chillers à água que usam refrigeração por Compressão de Vapor variam de acordo com o compressor. Os compressores mais comuns em sistemas como este, são Scroll, Helicoidal e Centrífugo. Chillers tipo Compressão de Vapor usam compressores para mover o refrigerante pelo sistema, onde temos um motor como energia de locomoção.
Já os Chillers por Absorção utilizam o principio de aquecimento para mover o refrigerante. Não é utilizado compressor como fonte de energia para tal e sim água quente, olho queimando ou gás natural.

Ciclo de Chiller tipo Compressão de Vapor

Em um ciclo de refrigeração por Compressão de Vapor o refrigerante entra no evaporador em forma de vapor, com baixa pressão misturada com líquido e vapor.

Calor é transferido do ar ou água relativamente aquecido para o refrigerante, causando refrigerante líquido para vapor. O vapor resultante sai do evaporador para o compressor, onde é incrementada a pressão e temperatura do vapor refrigerante.

O vapor refrigerante, quente e com alta pressão, deixa o compressor e entra no condensador resfriado a ar (normalmente trocador de tubo aletado) ou líquido (geralmente trocador casco e tubo), onde calor é transferido para o ambiente a uma baixa temperatura. Dentro do condensador, o vapor refrigerante condensa para líquido.

Líquido este que passa pela válvula de expansão, onde temos uma redução da pressão do refrigerante, mantendo a pressão para o evaporador.

Nesta baixa pressão, uma pequena porção de vapor refrigerante, resfriando o líquido restante para a temperatura solicitada pelo evaporador. A fria mistura de líquido e vapor refrigerante caminha então para o evaporador, fechando o ciclo.

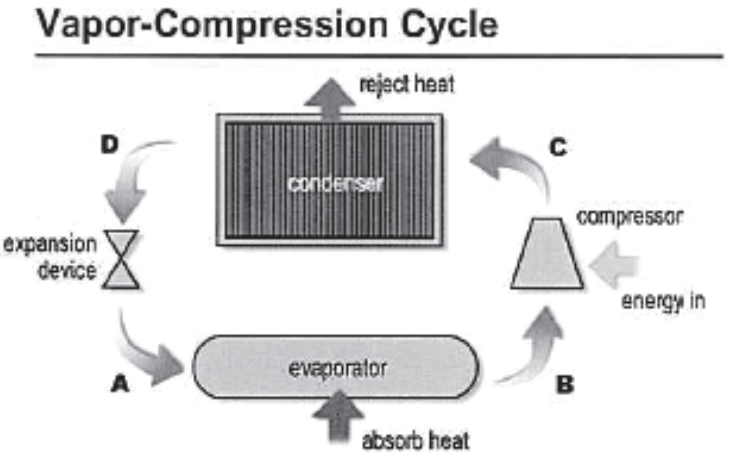


Figura 7.40 - Ciclo de compressão do vapor

Tipos de Compressores

O tipo de compressor causa o maior impacto na eficiência e confiabilidade do Chiller à Água de Compressão de Vapor.Seguido desta teoria novas tecnologias para compressores foram desenvolvidos para alcançar esses parâmetros tão importantes para o sistema.

Compressores são equipamentos que elevam a pressão do ar através de acionamento mecânico, em geral motor elétrico ou de combustão interna.Basicamente os compressores de ar se classificam em dois grupos distintos, de forma semelhante às bombas para líquido.

Deslocamento positivo: a compressão se dá pela redução física do volume da câmara em intervalos discretos. O clássico compressor a pistão (também chamado compressor alternativo) é o exemplo mais evidente. Os compressores chamados rotativos também são de deslocamento positivo, mas a redução de volume pelo movimento de rotação de um conjunto de peças. Os tipos mais conhecidos são os de anel líquido, de palhetas, de lóbulos e de parafusos.

Dinâmicos: A compressão se dá pela ação de um rotor ou outros meios que aceleram o ar, aumentando sua pressão total. Podem ser tipo ejetor (não muito comum) ou tipo axial ou centrífugo, similar as bombas para água.

- **CAPACIDADE DE COMPRESSORES**

Os parâmetros básicos que definem a capacidade de um compressor são a pressão e a vazão de ar que ele pode fornecer. Para a pressão, é comum a unidade bar ($=10^5$ Pa) em termos relativos, ou seja, descontada a pressão atmosférica padrão (1,01325 bar). Para a vazão, é usual a indicação em metro cúbico normal (nm^3) por hora. É uma unidade não SI, que em princípio não deveria ser usada, mas a praxe ainda permanece. Notar que não é uma medida de volume e sim de massa, pois é definida como a quantidade de ar que ocupa o volume de 1 metro cúbico nas condições normais (1 atm, 0ºC). Isso equivale a aproximadamente 1,293 kg de ar. Outras unidades e condições podem ser especificadas, dependendo do fabricante.

Outro parâmetro, que é conseqüência dos anteriores, é a potência do motor. É importante para o dimensionamento da ligação elétrica. Em princípio deve ser usada a unidade SI quilowatt (kW). Mas outras como CV e HP são muito usadas.

A seguir algumas considerações sobre os tipos de compressores mais usados:

Compressores Tipo Alternativo

O funcionamento do compressor alternativo consiste em um pistão movendo-se alternadamente no interior de um cilindro, com as válvulas de aspiração e descarga dispostas convenientemente para permitir a sucção e a compressão do fluido refrigerante, ver Figura a seguir:

Figura 7.41 - Desenho esquemático de um compressor alternativo

A carcaça do compressor alternativo retém o gás de sucção a baixa pressão. O gás de sucção é trazido para dentro do cilindro do corpo através da mufla de sucção pela ação do pistão. O gás é comprimido e bombeado através da mufla de descarga. Nestes compressores, o conjunto bomba/compressor é montado num sistema de suspensão que o isola da carcaça do compressor. Tal sistema de suspensão garante que o compressor esteja assentado no óleo de lubrificação do compressor. Isto ajuda a manter frio o gás de sucção durante a passagem do corpo até o cilindro. O lado de descarga da bomba é conectado à saída de descarga do compressor por um longo tubo chamado serpentina.

Compressore Tipo Rotativo

Estes compressores são destinados à aplicação em modernos aparelhos condicionadores de ar. O sistema rotativo é composto por um rolete que gira em movimento excêntrico dentro de um cilindro, formando duas câmaras (sucção e descarga), separadas por uma palheta. A sucção e a compressão do fluido refrigerante ocorrem ao mesmo tempo e de forma contínua, proporcionando melhor desempenho e menor nível de ruído e vibração, ver Figura 2.

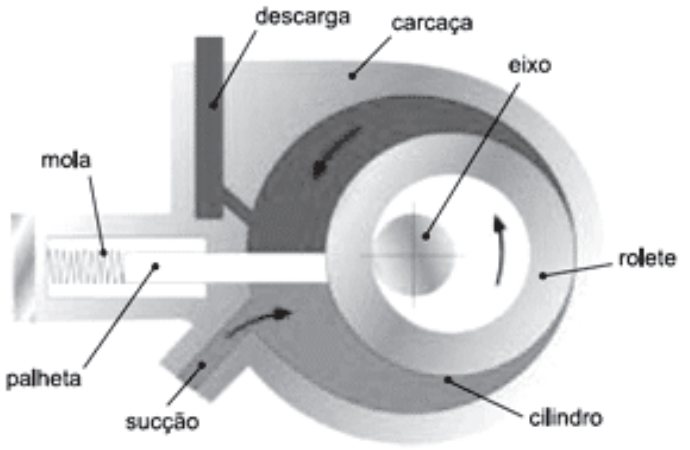


Figura 7.42 - Desenho esquemático de um compressor rotativo

Diferente dos alternativos, a carcaça dos compressores rotativos suporta o gás de descarga de alta pressão. O gás de sucção é puxado diretamente para dentro do cilindro do corpo, sendo comprimido e então descarregado na carcaça do compressor. Assim, o fluido refrigerante em alta pressão e alta temperatura, torna a carcaça do compressor rotativo mais quente em relação às do tipo alternativo.O compressor rotativo possui menos peças e é menor em tamanho e peso quando comparado ao recíproco. Enquanto nos compressores alternativos o conjunto da bomba é montado em um sistema de suspensão, nos rotativos o conjunto é fixado à carcaça. Outra característica destes compressores é o baixo consumo de energia, resultado da combinação dos itens abaixo:A maneira contínua e simultânea com que acontece a sucção e a compressão do fluido refrigerante no sistema de bombeamento faz com que a carga aplicada ao eixo da bomba seja

mais uniforme, exigindo menos do motor elétrico; O rigoroso critério de acasalamento das peças, minimizando todas as folgas, propicia uma perfeita montagem dos componentes mecânicos sem haver perdas nos ciclos de compressão e sucção; O processo de sucção se dá diretamente na câmara de compressão, evitando que o gás troque calor com os demais componentes internos, o que geraria perdas no rendimento.

● VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

A capacidade de um Chiller centrífugo pode ser modulada utilizando um Variador de Freqüência Ajustável (Inversor de Freqüência).Os Inversores de Freqüência são utilizados amplamente em bombas e ventiladores, e baseado com o resultado de avanço em tecnologia de microprocessadores para controle de Chillers, podemos aplicar o Inversor nos Chillers a Água centrífugos.

Usando essa tecnologia com Chiller centrífugo podemos diminuir o trabalho com carga total, melhorando a eficiência. Essa aplicação impacta em decréscimo nos gastos com eletricidade.Os picos de carga antes causados pela partida direta serão eliminados, mostrando maior estabilidade do sistema e garantindo economia reduzindo a rotação do motor para condições de cargas baixas.

Certas características favorecem o uso de Inversores de Freqüência, como:

- Número reduzido de partidas
- Disponibilidade de resfriamento de condensador de água
- Alto rendimento e maior durabilidade do sistema
- Flexibilidade de operação

Chillers econômicos usam controle de reset para condensador e temperatura da água, porém, prejudicam em energia desnecessário para bombeamento e resfriamento da torre.

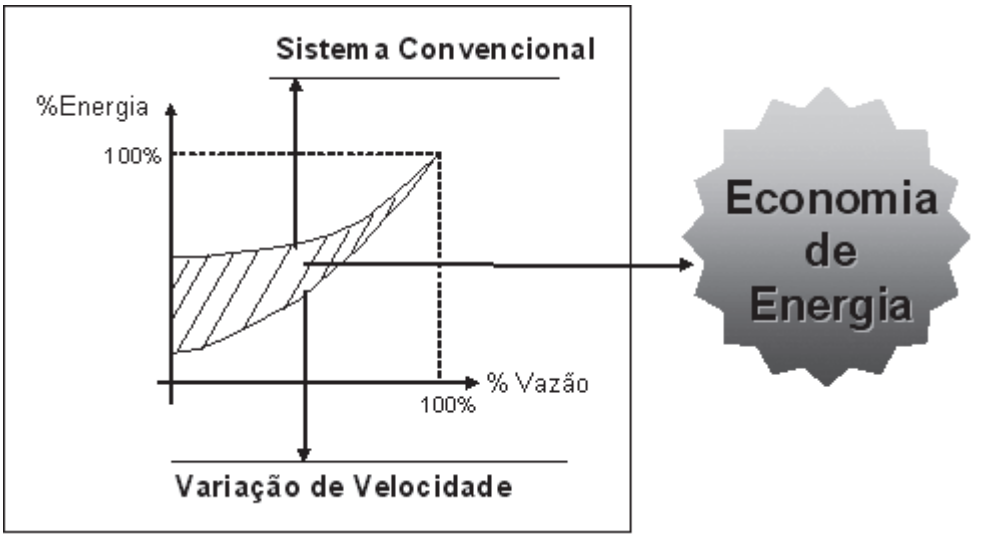


Figura 7.43 - Gráfico de economia de enrergia elétrica utilizando inversores de freqüência

Na figura acima temos um exemplo de aplicação com um sistema convencional, utilizando partida direta, onde em alguns casos obtém-se a vazão desejada através de estrangulamento. Método que gera uma perda desnecessária de energia, não alcançando a mesma performance e economia que um Inversor de Freqüência.

Em geral, para sistemas de Ar Condicionado procuramos ter o controle do sistema através de uma malha fechada. Este é um tipo de aplicação onde buscamos, em função da aplicação, manter uma vazão (temperatura, pressão, etc..) constante. Para tal controle utiliza-se um transmissor de vazão ou pressão fazendo a medição e enviando um sinal analógico (4 à 20mA ou 0 à 10V), relativo a unidade a ser medida, para o Inversor de Freqüência. O Inversor por sua vez possui um controle chamado PID (Proporcional Integral Derivativo) que é responsável pela busca de ponto ideal (Set Point) para o sistema.

O PID é um controlador interno ao Inversor de Freqüência que compara o sinal vindo do campo com o Set Point determinado pelo usuário, assim de acordo com o estudo da aplicação são inseridos valores de PID para a busca da velocidade correta do equipamento.

Para ilustrar um pouco, seguem abaixo os parâmetros necessários para programarmos o controle de Malha Fechada:

Parâmetro	Descrição	Opção
133	Referência de velocidade Min	30 HZ
134	Referência de velocidade Máx	60 HZ
203	Seleção de Funções especiais	1 = Regulador PID
220	Seleção Local / Remoto	4 = DI2... DI8
221	Seleção Referência LOCAL	0 = HMI Teclas
223	Seleção Giro LOCAL	0 = Horário
224	Seleção Gira / Para LOCAL	1 = DIx
233	Zona Morta AIx	1 = Ativa
237	Função Sinal AI2	3 = Variável Processo PID
239	Sinal Entrada AI2	0 = 0...10V/0...20mA 1 = 4...20mA 2 = 10...0V/20...0mA 3 = 20... 4mA
263	Função Entrada DI1	1 = Gira / Para
264	Função Entrada DI2	1 = Local / Remoto
520	Ganho Proporcional PID	1.000
521	Ganho Integral PID	0.040
522	Ganho Diferencial PID	0.000
525	Set Point PID	0... 100 %
527	Tipo de Ação	1 = Reverso (Pressão ↑ Velocidade ↓)

Aplicações de AVAC com Inversor de Freqüência

Em aplicações típicas de Ar Condicionado podemos ter além do controle do motor propriamente dito, o controle de uma válvula moduladora através de um sinal analógico de saída do Inversor de Freqüência.

Abaixo temos uma ilustração para a aplicação do sistema citado:

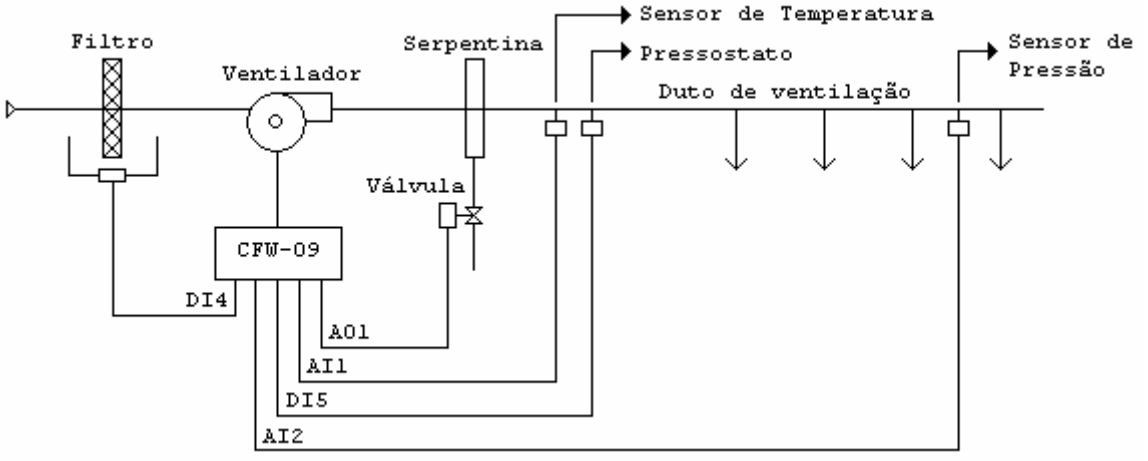


Figura 7.44 - Sistema típico de ar-condicionado

Como podemos notar, simultaneamente aos controles de PID pode-se contar com entradas digitais para segurança, sinalização do estado de operação, ou até mesmo mudança de Set Point automaticamente, propiciando uma grande flexibilidade.

Com essa configuração é garantido um controle geral do sistema de forma centralizada e otimizada.

• TIPOS DE CONDENSADORES

A troca de calor fica com o segundo lugar em termos de impacto na eficiência do Chiller a água e uma das maiores diferenças nesta perda de calor está na escolha do tipo de Condensador:

- Resfriado à Água
- Resfriado à Ar

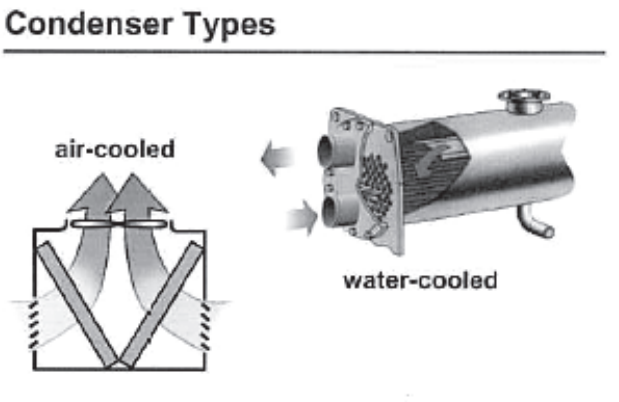


Figura 7.45 - Tipos de Condensadores

Quando comparamos capacidade temos o primeiro ponto que distingue os dois tipos de condensadores. Um condensador resfriado a água trabalha em um range de 25 à 1580kW e condensador resfriado a ar são normalmente de 35 à 10500 kW.

Chiller resfriado à Ar

A maior vantagem de usar um Chiller resfriado a ar é a eliminação da Torre de Resfriamento. Isto elimina a preocupação e necessidade de manutenção relacionada a tratamento de água, tubo de condensador, manutenção mecânica da torre, proteção de congelamento e qualidade da água.

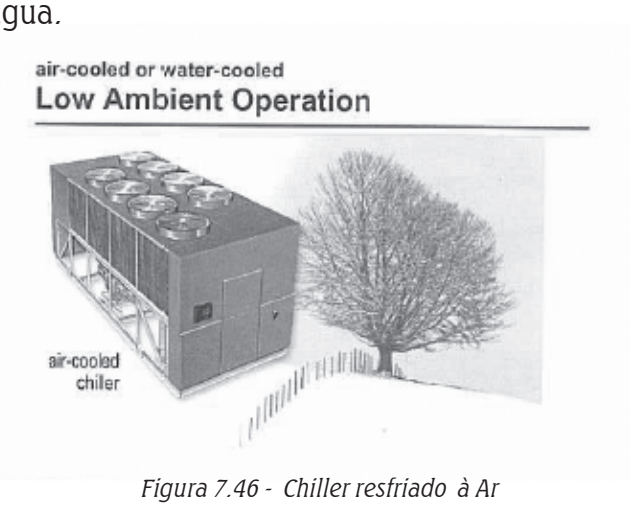


Figura 7.46 - Chiller resfriado à Ar

Condensadores resfriados à ar tem a capacidade de trabalhar em climas de temperaturas extremamente baixas, não tendo problemas relacionados com torre de resfriamento nestas condições. Torres de resfriamento requerem seqüências especiais de controle ou até um recipiente interno para operação em climas com temperaturas muito baixas.

Para aplicações de processo, assim como central de computadores ditam normalmente o uso de Chiller resfriado a ar.

Chiller resfriado à Água

Chiller resfriado a água normalmente são mais eficientes em energia.

A temperatura de condensação do refrigerante em um Resfriador a ar é dependente da temperatura do bulbo seco no ambiente, já o resfriador a água depende da temperatura do condensador de água, que por sua vez é dependente da temperatura do bulbo úmido no ambiente. Desde que a temperatura do bulbo úmido for frequentemente mais baixa que a do bulbo seco, a temperatura de condensação do refrigerante (e pressão) no Chiller de Resfriador a água pode ser mais baixa que no Resfriador a ar.Uma baixa temperatura de condensação com uma baixa pressão de condensação, significa que o compressor precisa trabalhar muito menos e consumir menos energia.

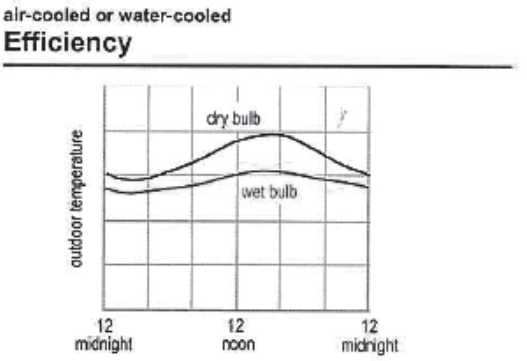


Figura 7.47- Gráfico de eficiência

Esta vantagem em eficiência pode ser maior nas condições de carga dividida porque a temperatura do bulbo seco tende a cair mais rápido que a do bulbo úmido. Adicionalmente, a vantagem de eficiência de um Chiller resfriado a água é muito menor quando a torre de resfriamento e custo de energia da bomba de condensação são consideradas.

Resumindo a comparação entre Chiller resfriado à água e à ar, a vantagem do Chiller resfriado a ar inclui baixo custo de manutenção, sistema pré-compacto para fácil projeto e instalação, e melhor operação em baixo ambiente. A vantagem de Chiller resfriado a água inclui grande eficiência de energia (no mínimo nas condições de projeto) e uma longa vida útil (pelo fato de resfriador a ar ser instalado ao ar livre e o resfriador a água ser interno).

Chillers de absorção à Água

O ciclo de refrigeração por absorção usa energia de calor como primeira força de movimento. O calor pode ser fornecido também em forma de vapor ou água quente (Indireto), queima de óleo ou gás natural (direto).

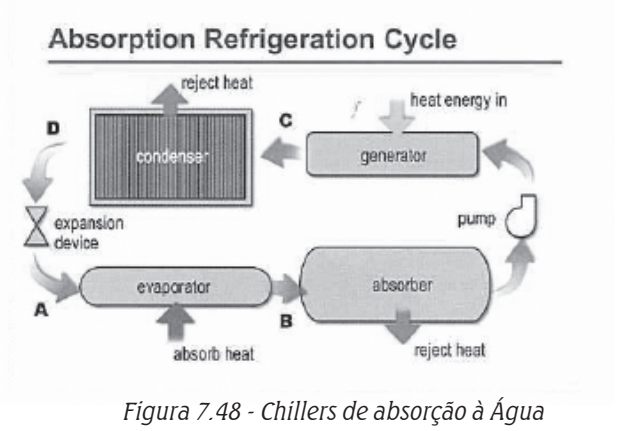


Figura 7.48 - Chillers de absorção à Água

Existem duas principais diferenças entre Ciclo de refrigeração por absorção e por compressão de vapor. A primeira é que o compressor é trocado por um absorber, uma bomba e um gerador. A segunda é que em adicional ao refrigerante, o ciclo da absorção do refrigerante usa um fluido secundário chamado absorvedor. O restante do sistema é similar.

7.4.4 Papel e Celulose

Controle do Jato / Tela: Controle da rotação da bomba de mistura, de modo a manter a relação de velocidades do jato de massa e da tela da maquina, constantes.

7.4.4.1 Introdução

Até os anos 70, normalmente a bomba de mistura operava com rotação constante, onde o controle da pressão e vazão após a mesma era feita pela válvula de controle, conjugado com válvulas de recirculação.

Com a popularização dos acionamentos de velocidade variável – conversores CA/CC e inversores de freqüência, passou-se a controlar a rotação do motor para que o fluxo necessário seja fornecido à caixa de entrada, evitando assim desperdícios de energia elétrica, principalmente em máquinas que tem constantes mudanças de gramatura e velocidade.

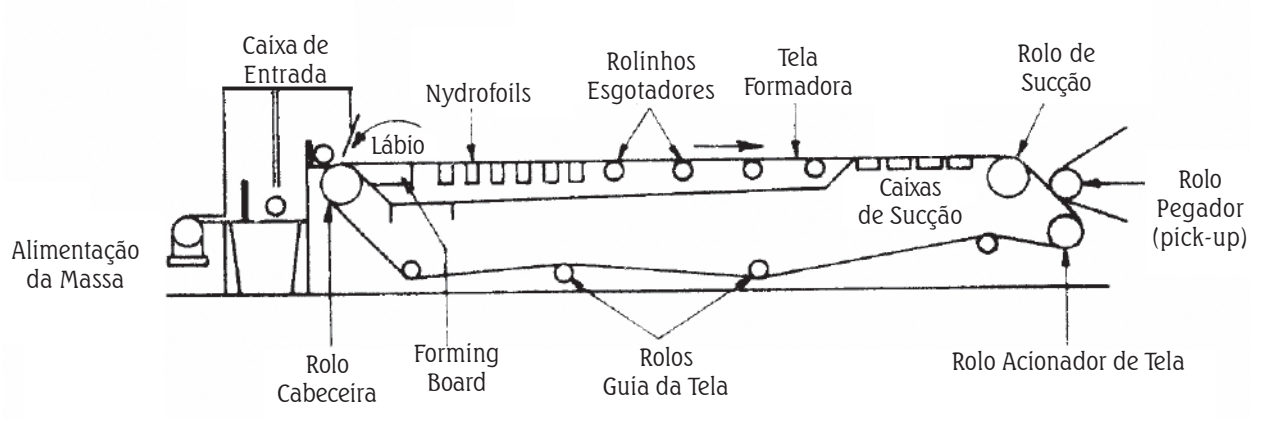


Figura 7.49 - Vista Geral da Caixa de Entrada e Mesa Plana

7.4.4.2 Definições

Do tanque da máquina, a massa é bombeada para a sucção da bomba de mistura, localizada no circuito principal da máquina denominado de "Approach Flow", que tem por função homogeneizar e recalcar o fluxo de suspensão fibrosa, de forma hidraulicamente estável, através dos sistemas de depuração, atenuadores de pulsação, até a caixa de entrada, com vazão adequada à capacidade de produção da máquina de papel.

Caixa de entrada: trata-se de um compartimento que tem a largura um pouco menor que a da tela formadora (onde a folha de papel é formada), e que tem a função de distribuir a suspensão de fibras sobre a tela, como uma lâmina contínua, o mais uniformemente possível.

As funções principais da caixa de entrada são:

- Formação de um jato de massa com toda a largura da tela formadora;
- Dispersão uniforme de fibras e aditivos;
- Regular a velocidade do jato em função da velocidade de formação , ou seja, da mesa plana.

Mesa plana é a parte da máquina de papel onde se dá a formação da folha. É constituída de uma mesa com suporte e colunas de aço, sobre o qual corre a tela formadora, apoiada sobre os elementos desaguadores, rolo de cabeceira, rolo de sucção e rolos guia.

A suspensão de fibras e cargas, ao passar pelos lábios da caixa de entrada, deságua sobre a tela formadora que está em movimento.

Figura 7.50 - Jato de massa sendo projetado sobre a tela formadora

A relação Jato / Tela, também conhecida como "Ratio", é dada por:

$$J / T = Ratio = \frac{v_J}{v_T}$$

onde:
v_J = velocidade de saída do jato [m/min]
v_T = velocidade da tela [m/min]

A relação Jato / Tela pode variar de 0,8 a 1,2. Existem 3 condições:

- J/T < 1, ou seja, $v_J < v_T$ - condição RUSH (arraste): Nesta situação existe um arrasto do jato. O movimento relativo entre a tela e a massa diminui o numero de flocos pelo cizalhamento mecânico, contribuindo para uma boa formação e alinhamento das fibras na direção da máquina.

- J/T = 1, ou seja, $v_J = v_T$ - condição TEÓRICO.

- J/T >1, ou seja, $v_J > v_T$ - condição DRAG: Neste caso, uma fração da água contida no jato volta para trás e existe alta probabilidade na formação de flocos de fibras afetando diretamente na formação da folha.

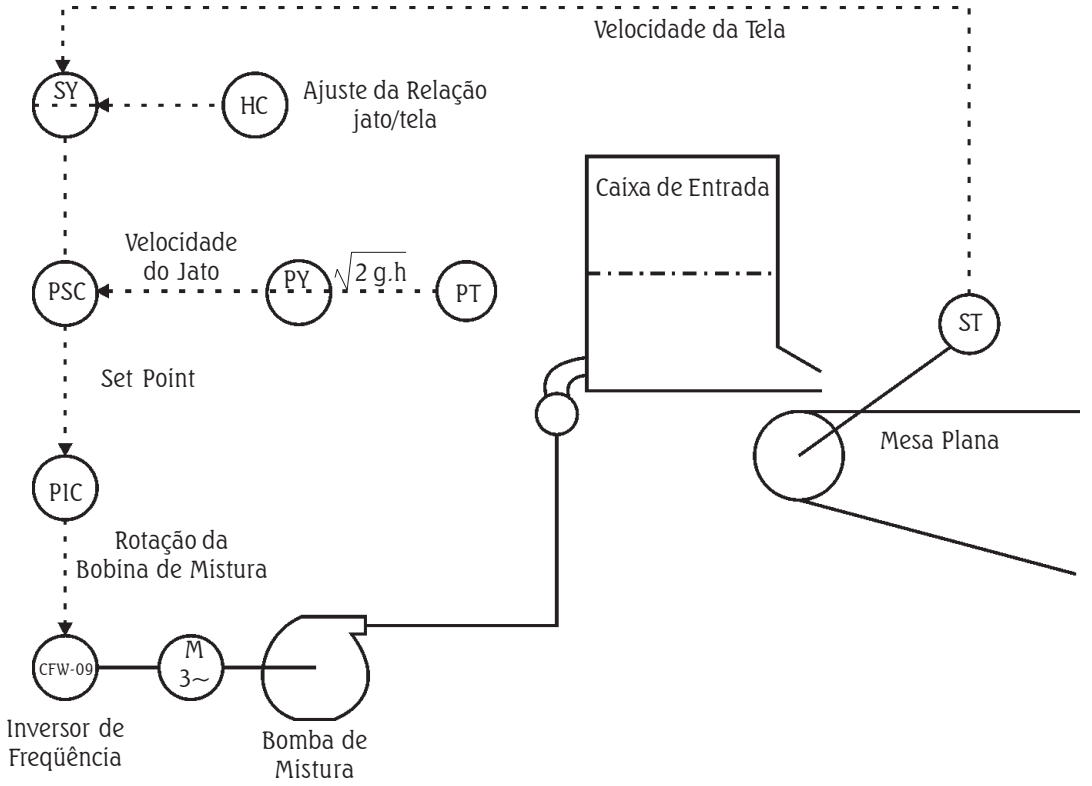


Figura 7.51 - Fluxograma de instrumentação

● APLICAÇÃO DO INVERSOR DE FREQÜÊNCIA

O inversor modelo CFW-09, equipado com placa PLC1, permite o controle a partir da própria IHM do inversor, conforme a figura a seguir, sendo esta a forma mais simples. Conforme a necessidade, permite a instalação de IHM dedicada ou ainda, a integração com um sistema supervisório.

A placa PLC1, deve conter o software aplicativo OEM008 Vxx carregado na memória.

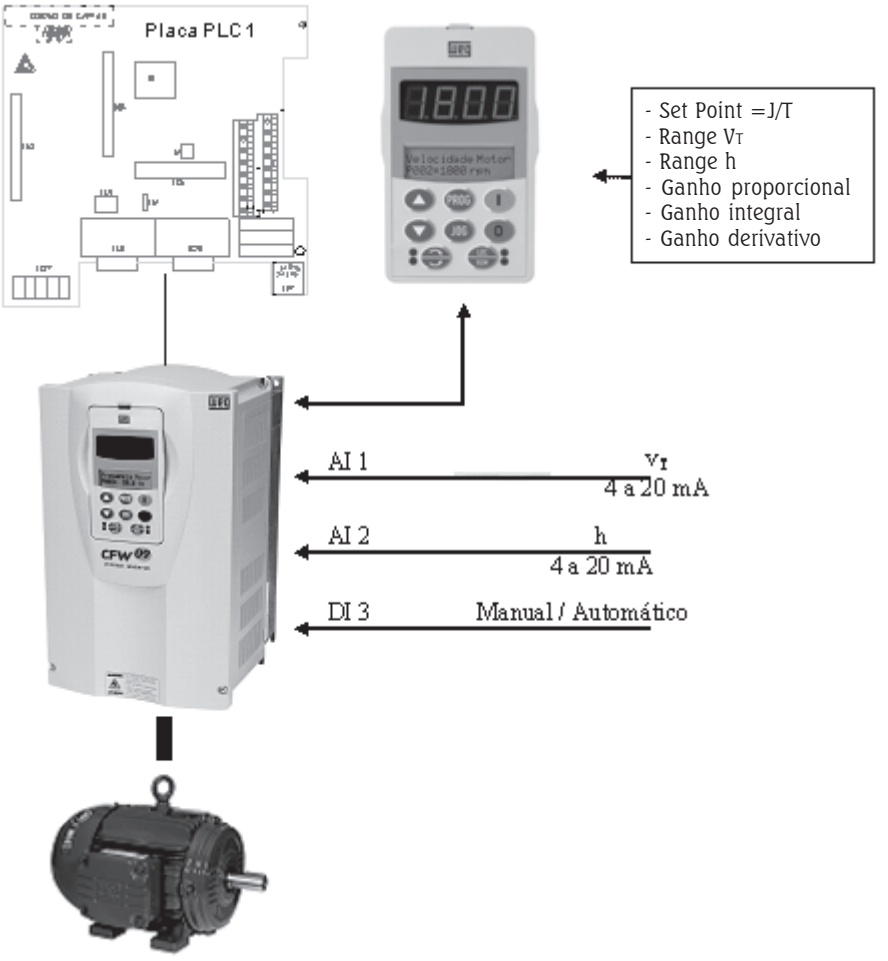


Figura 7.52 - Interligação

Parametrização

Além dos parâmetros normais, segue abaixo alguns parâmetros que merecem destaque:

Parâmetro	Descrição	Faixa de Valores	Ajuste de fábrica	Unidade
P 133	Referência de velocidade mínima = Velocidade de pressurização da caixa de entrada	0 a (P 134-1)	90	rpm
P 766	Tempo Amostragem do PID	0 a 10000	416	x 1,2 ms
P 800	Jato / Tela	8 a 12	10	÷ 10
P 801	Range h			cm H_2O
P 802	Range v_T			m/min
P 803	Ganho Proporcional PID	0 a 32767	60	÷ 1000
P 804	Ganho Integral PID	0 a 32767	3800	÷ 1000
P 805	Ganho Derivativo PID	0 a 32767	940	÷ 1000

7.4.5 Movimentação de Cargas

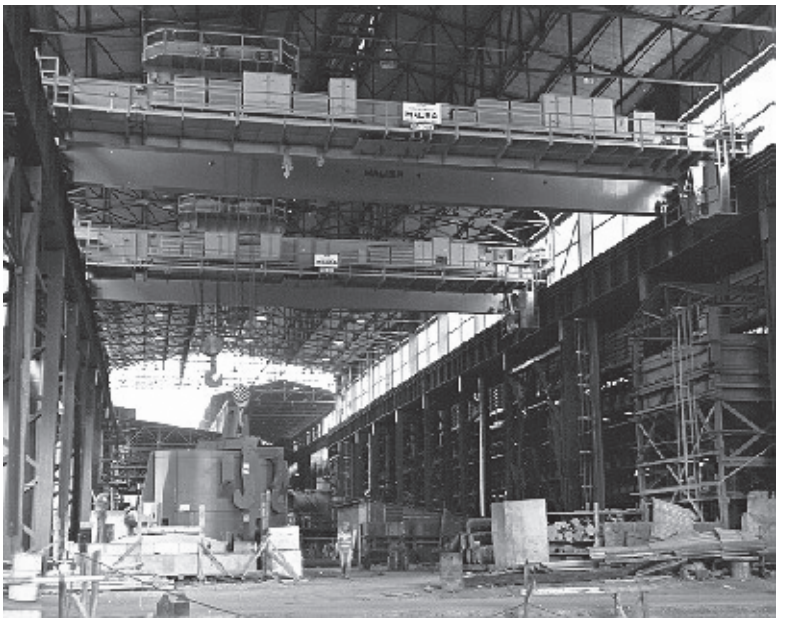


Figura 7.53 - Pontes rolantes

- **PONTES ROLANTES**

Vantagens da Utilização do Inversor de Freqüência:
Podemos avaliar as vantagens da utilização do inversor de freqüência sob os seguintes aspectos:

Eliminação dos impactos elétricos para a rede
Com o inversor de freqüência, pelo fato de se manter o fluxo constante no motor (variar freqüência e tensão), consegue-se manter o torque nominal do motor em toda faixa de rotação, partindo com a corrente de entrada do inversor da ordem ou menor que a corrente nominal do motor. Desta forma, com o inversor de freqüência é possível partir cargas pesadas, com torque elevado do motor, com reflexo para a rede da ordem da corrente nominal, eliminando as elevadas correntes de partidas diretas do motor (da

ordem de 7 x In), ou mesmo se comparado com os motores de anéis (rotor bobinado). O inversor de freqüência elimina esses efeitos que causam afundamentos de tensão, necessidade de sobredimensionamento dos dispositivos de comando, cabos e transformador, desligamentos indesejáveis, etc.

Eliminação dos impactos mecânicos

O inversor de freqüência permite a programação de rampas de aceleração e desaceleração suaves, fornecendo ainda torque elevado, eliminando os choques mecânicos durante as partidas, trocas de velocidade (comparado com a comutação de resistência dos motores de anéis) e paradas suaves, uma vez que o freio mecânico não mais atraca para frenagem (a frenagem passa a ser elétrica), sendo utilizado apenas para estacionamento e emergência. Desta forma reduz-se drasticamente as paradas para manutenção ou ajuste das sapatas do freio, quebra de acoplamento, mancais, redutores, bem como maior facilidade e precisão de posicionamento das cargas (como por exemplo, sobre a carroceria de caminhões). Todos os ajustes são parametrizáveis, podendo ser facilmente alterados conforme a necessidade (rampas de aceleração, desaceleração, velocidades, etc.). O gráfico abaixo ilustra a redução do custo de manutenção e do tempo de parada por defeitos mecânicos, após a instalação de um inversor de freqüência em uma ponte rolante de 25 toneladas que operava 24 h por dia em uma siderúrgica de Minas Gerais.

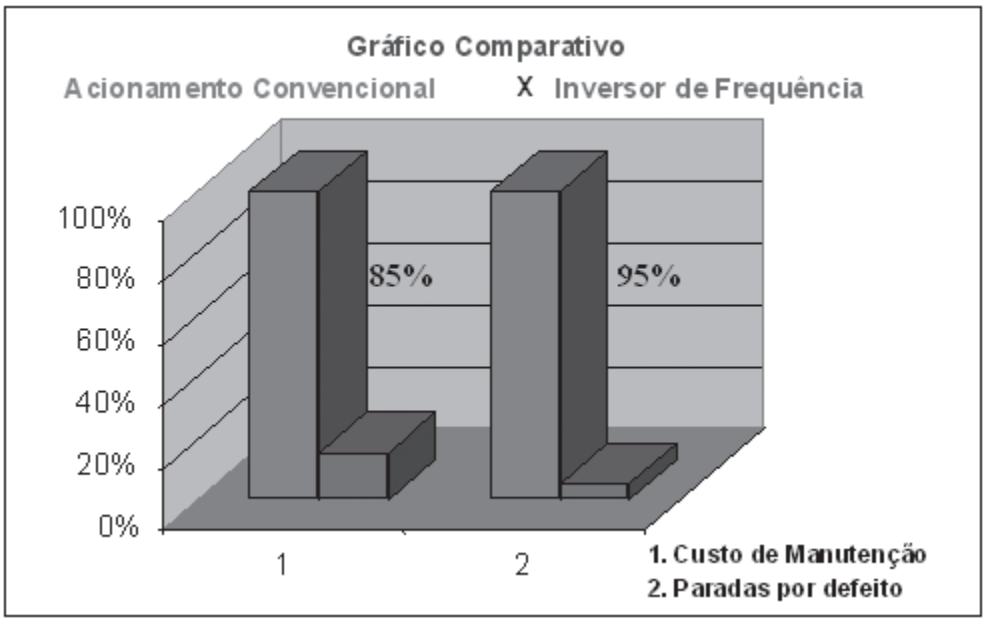


Figura 7.54 - Gráfico comparativo de acionamento convencional x inversor de freqüência

Economia de energia

Redução no consumo de energia uma vez que a potência do motor (kW) fica "modulada" pela carga elevada e pela velocidade de trabalho, passando a consumir apenas o que o processo requerer, eliminando os desperdícios (baixos rendimentos, desperdício e dissipação de calor nos acionamentos com motores de anéis, etc.).

Em aplicações de pontes de produção, com elevados ciclos de operação, torna-se viável a utilização de inversores de freqüência com retificadores regenerativos, possibilitando além da economia de energia citada acima, também o retorno para a rede da potência regenerada no momento da descida e frenagem da carga, quando o motor é tracionado e passa a funcionar como gerador.

Automação do sistema

O inversor de freqüência possibilita a automação do sistema, permitindo a comunicação através de redes fieldbus, trocando informações com um sistema superior (CLP, supervisório), permitindo melhor administração do processo através da monitoração, emissão de relatórios, etc.

Facilidade de adaptação de sistema de rádio remoto via botoeiras ou joystick.

Padronização
Possibilidade de utilização de motores de indução convencionais, facilitando a padronização de motores da planta, bem como facilitando a manutenção ou aquisição para reposição.

Conforto
Redução do ruído de chaveamento dos contatores e Eldros, ruídos e vibrações mecânicas -melhorando o conforto, a segurança e a produtividade do operador, bem como do pessoal de área.

Cuidados no dimensionamento
Para a grande maioria das cargas (bombas, ventiladores, compressores, etc.) o dimensionamento do inversor de freqüência é feito através da corrente nominal do motor elétrico, usando um inversor com corrente nominal igual ou imediatamente superior (para condições ambientais: temperatura até 40 °C e altitude até 1000 m).

Este dimensionamento ainda prevê sobrecargas de 150% durante 60 seg. a cada 10 min para cargas com "conjugado constante", ou 120% durante 60 seg. a cada 10 min. para cargas com "conjugado variável".

Para aplicações em pontes rolantes, onde a necessidade de se partir cargas pesadas em tempos de aceleração relativamente curtos, a necessidade de o inversor operar em sobrecarga de modo a vencer a inércia da carga durante a aceleração (ou desaceleração) é certa, além de normalmente o ciclo de operação da ponte ser bem superior ao suportado pela sobrecarga padrão dos inversores de freqüência.

Desta forma, na grande maioria das vezes, para o correto dimensionamento do inversor, deve-se levar em consideração o ciclo de operação da ponte no pior caso, para um período de 10 minutos, calculando-se o valor eficaz da corrente para este período.

O inversor escolhido será, então, para a corrente igual ou superior à corrente eficaz calculada, tomando-se ainda o cuidado de verificar se alguma corrente de sobrecarga do ciclo avaliado não seja maior que 1,5 vezes a corrente do inversor escolhido. Se for maior, o invesor deverá ser sobredimensionado de maneira a atender a este requisito.

Vale salientar que ainda deve-se levar em consideração as condições ambientais como a altitude e a temperatura ambiente, que poder levar ainda a um sobredimensionamento do inversor:

- Temperatura – 0 a 40°C, ou até 50°C com
- Redução de 2% / °C na corrente do inversor
- Altitude – 0 a 1000 m, ou até 4000 m com
- Redução de 10% / 1000 m na corrente de saída

Especificação dos inversores de freqüência:
Com base na experiência adquiria ao longo dos anos, foram estabelecidos alguns fatores que podem ser utilizados para especificação dos inversores de freqüência a serem utilizados em todos os movimentos de uma ponte rolante, conforme descrito abaixo.

Movimentos Verticais (Elevação):
O inversor de freqüência deverá ser dimensionado da seguinte forma:

- Para pontes rolantes com regime de trabalho leve e ambiente não agressivo:
  $I_{sCFW} = 1,15 \times I_{nmotor}$
  I_{sCFW} – Corrente de saída do Inversor
  I_{nmotor} – Corrente nominal do motor

- Para pontes rolantes com regime de trabalho pesado e ambiente agressivo (áreas siderúrgicas):
  $I_{sCFW} = 1,20 \times I_{nmotor}$
  I_{sCFW} – Corrente de saída do Inversor
  I_{nmotor} – Corrente nominal do motor

Importante: Se tiver dúvida quanto ao regime e o ambiente de trabalho, utilize o maior fator (1,20), ou entre em contato com WEG.

- O resistor de frenagem deverá ser dimensionado da seguinte forma:
  $P_{resistor} = 0,7 \times P_{motor}$ (kW)
  %ED = 100% (percentual de utilização dentro de cada ciclo)
  Resistência conforme modelo do inversor, ver manual.

Movimentos Horizontais (Translação)

- O inversor deverá ser dimensionado da seguinte forma:
  $I_{sCFW} = I_{nmotor}$
  I_{sCFW} – Corrente de saída do Inversor
  I_{nmotor} – Corrente nominal do motor

- O resistor de frenagem deverá ser dimensionado da seguinte forma:
  $P_{resistor} = 0,4 \times P_{nmotor}$ (kW)
  %ED = 50% (percentual de utilização dentro de cada ciclo)
  Resistência conforme modelo do inversor, ver manual.

Observações Gerais

- O dimensionamento dos resistores pode ser otimizado caso disponha da potência calculada para o acionamento dos movimentos da ponte (elevação ou translação). Exemplo: supondo que a potência calculada para o acionamento da elevação de uma ponte rolante seja 62 kW, o motor a ser utilizado, por questões de padronização das potências, seria um de 75 kW, nesta situação o resistor de frenagem poderá ser determinado com a potência calculada, ou seja, 0,7 x 62 = 43,4 kW. O mesmo procedimento pode ser adotado para os movimentos de translação.
- Para a especificação dos resistores de frenagem deve-se observar as condições de instalação, vibração, grau de proteção e pintura.
- Para a substituição de motores de anéis por motores standard, utilizar um fator de 1,25. O critério de dimensionamento do inversor continua sendo o mesmo adotando-se a corrente do novo motor.

- Os fatores descritos acima forma determinados, considerando as seguintes condições ambientes: temperatura: 45°C e altitude: 1000 m. Para temperatura e ou altitude superiores, considerar os percentuais citados no item "Cuidados no dimensionamento".

- Além dos cuidados com o dimensionamento do inversor de freqüência, é importante salientar que, no caso de cargas líquidas, existem normas específicas como a "AISE Technical Report N º 6 (1996)" que estabelecem os critérios para esta aplicação.

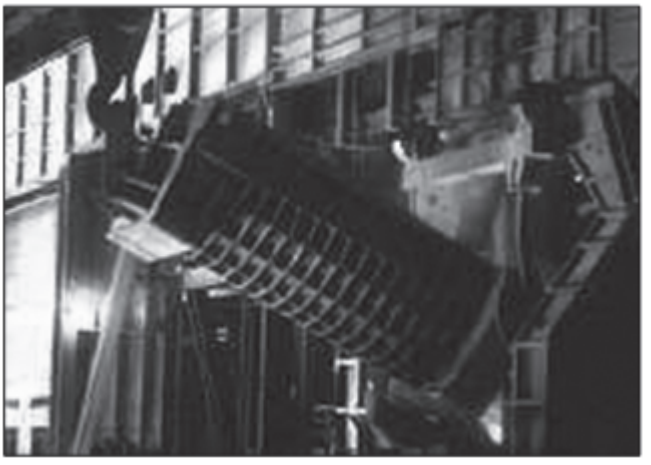


Figura 7.55 - Exemplos de movimentação de cargas

Modelos de inversores de freqüência a serem utilizados:

- Poderá ser utilizado o CFW-08 (com frenagem), para os movimentos horizontais, junto com o CFW-09, para os movimentos verticais, na mesma ponte, porém, deverá ser considerado a seguinte possibilidade:

- CFW-09 até 9A, não necessita de resistor de frenagem porque pode ser utilizado o recurso "Optimal Braking", assim deverá ser avaliado o custo em relação ao um CFW08 + frenagem.

Recursos dos inversores de freqüência utilizados para o acionamento de pontes rolantes:
Os inversores de freqüência WEG possuem diversos recursos que podem ser utilizados nas mais variadas aplicações. Destacamos, para a aplicação de pontes rolantes, os seguintes recursos:

Multispeed
Na grande maioria das vezes, a referência de velocidade é feita com este recurso que, através de combinações das entradas digitais, impõe ao motor velocidades pré programadas, conforme ilustração abaixo.

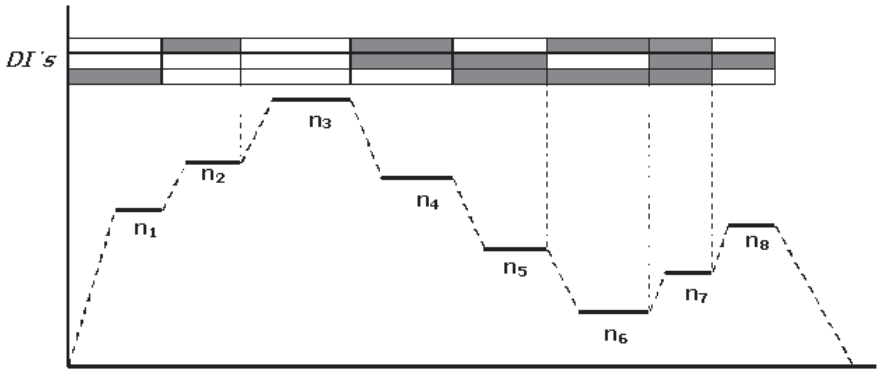


Figura 7.56 - Gráfico do MultiSpeed

Rampa "S":
Proporciona mais suavidade nas partidas e paradas.

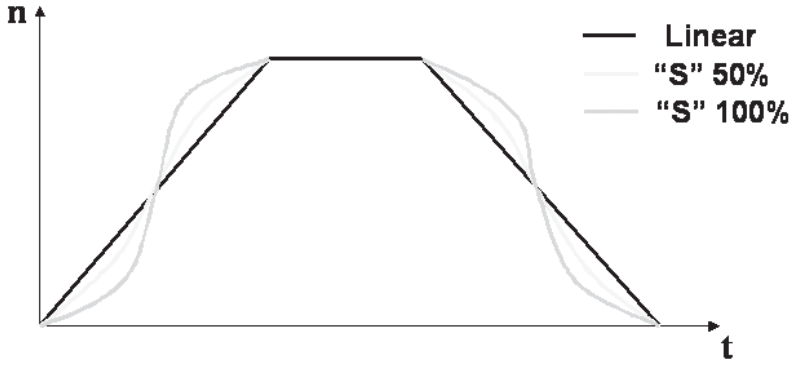


Figura 7.57 - Gráfico Rampa S

Redes Fieldbus

O inversor de freqüência possibilita a automação do sistema, permitindo a comunicação através de redes fieldbus, trocando informações com um sistema superior (CLP, supervisório), permitindo melhor administração do processo através da monitoração, emissão de relatórios, etc.

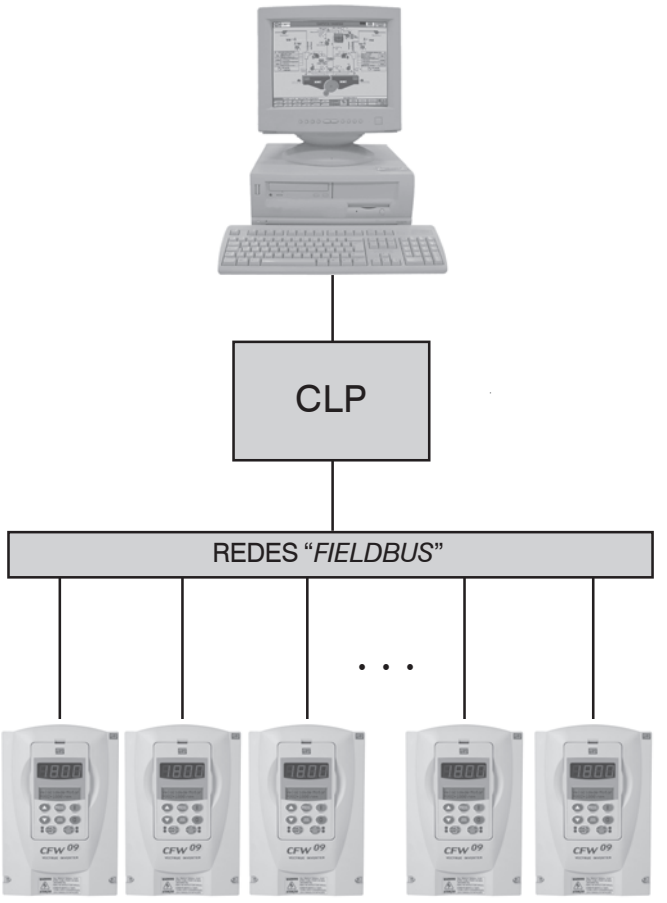


Figura 7.58 - Comunicação em Rede FieldBus

8

INSTALAÇÃO DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

8.1 Rede de alimentação elétrica

8.2 Fusíveis

8.3 Condicionamento da rede de alimentação

- Filtro de rádio-freqüência
- Contatores

8.4 Interferência eletromagnética (EMI)

- Conceitos básicos

8.5 Cabos

8.6 Aterramento

8.7 Dispositivos de saída

- Relés térmicos
- Reatância de saída

8.8 Instalação em painéis - princípios básicos

8 INSTALAÇÃO DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

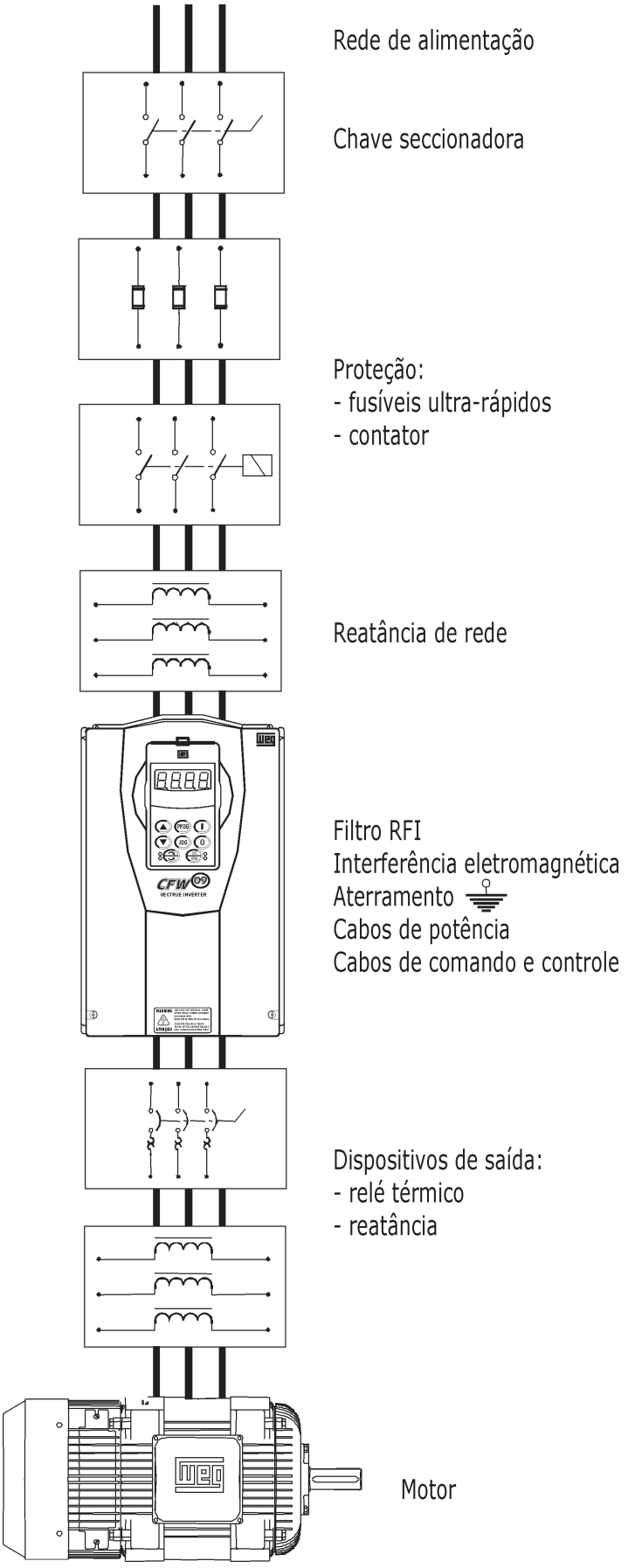


Figura 8.1

Este capítulo tem como objetivo apresentar os componentes e informações gerais necessárias para a instalação de um inversor de freqüência. A utilização de cada componente dependerá de cada caso particular.

Serão abordados os seguintes tópicos (ver figura 8.1):

- **Rede de Alimentação**
- **Manobra e proteção**
  - Chave Seccionadora
  - Fusíveis de Alimentação
- **Condicionamento da Alimentação**
  - Transformador Isolador
  - Reatância de Rede
  - Filtro de Rádio Freqüência
  - Contatores
- **Interferência Eletromagnética**
  - EMI Interferência Eletromagnética
  - RFI Interferência de RF
- **Aterramento**
- **Cabos**
- **Dispositivos de Saída**
  - Relés Térmicos
  - Reatância
- **Instalação em painéis**

8 INSTALAÇÃO DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

8.1 REDE DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA

REDE DE ALIMENTAÇÃO DESBALANCEADA
Os inversores são projetados para operar em redes de alimentação simétricas. A tensão entre fase e terra deve ser constante, se por algum motivo esta tensão varia, por exemplo pela influência de algum outro equipamento ligado a rede, será necessário colocar um transformador de isolação.

8.2 FUSÍVEIS

Os inversores geralmente não possuem proteção contra curto-circuito na entrada, sendo assim, é responsabilidade do usuário colocar fusíveis para proteção. Estes são normalmente especificados na documentação técnica.

8.3 CONDICIONAMENTO DA REDE DE ALIMENTAÇÃO

Geralmente os inversores podem ser ligados diretamente a rede de alimentação. Existem, no entanto, certas condições que devem ser levadas em conta na instalação de um inversor, sendo necessária a utilização de transformadores isoladores e/ou reatâncias de rede.

Exemplos:

- A rede elétrica experimenta freqüentes flutuações de tensão ou cortes de energia elétrica (transformador isolador / reatância).
- A rede elétrica não tem neutro referenciado ao terra (transformador isolador)
- A rede tem capacitores para correção de fator de potência não conectados permanentemente. Isto significa que o banco de capacitores estará sendo conectado e desconectado da rede permanentemente (reatância de rede). Deve se levar em conta que a colocação de uma reatância de rede reduz a tensão de alimentação em aproximadamente 2 a 3%.

As reatâncias de rede são utilizadas também para:

- Minimizar falhas no inversor provocadas por sobretensões transitórias na rede de alimentação
- Reduzir harmônicas

- Melhorar o fator de potência
- Aumentar a impedância da rede vista pelo inversor.

FILTRO DE RÁDIO-FREQÜÊNCIA
Os filtros de rádio freqüência são utilizados na entrada dos inversores para filtrar sinais de interferência (ruído elétrico) gerado pelo próprio inversor, que serão transmitidas pela rede e poderiam causar problemas em outros equipamentos eletrônicos.

Na grande maioria dos casos não são necessários pois os inversores WEG já possuem internamente um filtro na entrada que evita problemas causados por Interferência Eletromagnética (EMI). Caso seja necessário, devem ser montados próximos a alimentação do inversor, estando tanto o inversor como o filtro mecanicamente sobre uma placa de montagem metálica aterrada, havendo bom contato elétrico entre a chapa e os gabinetes do filtro e inversor (ver figura 8.3).

CONTATORES
Com a finalidade de prevenir a partida automática do motor depois de uma interrupção de energia, é necessário colocar um contator na alimentação do inversor ou realizar algum intertravamento no comando do mesmo. O contador também permite um seccionamento remoto da rede elétrica que alimenta o inversor.

8.4 INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA (EMI)

CONCEITOS BÁSICOS

O que é EMI?
A radiação eletromagnética que afeta adversamente o desempenho de equipamentos eletro-eletrônicos é conhecida geralmente por EMI, ou Interferência Eletromagnética. Muitos tipos de circuitos eletrônicos são suscetíveis a EMI e devem ser protegidos para assegurar seu correto funcionamento. Da mesma forma, emissões irradiadas desde dentro dos equipamentos eletrônicos podem prejudicar o funcionamento dos mesmos ou de outros equipamentos que se encontrem perto destes.

Para assegurar o correto funcionamento de equipamentos eletrônicos, as emissões eletromagnéticas produzidas por equipamentos comerciais não devem exceder níveis fixados por organizações que regulamentam este tipo de produtos.

Em que consistem as EMIs?
A radiação eletromagnética são ondas eletromagnéticas formadas por dois campos: um campo elétrico ("E") e um campo magnético ("H") que oscilam um a 90 graus do outro. A relação de "E" para "H" é chamada a impedância de onda. Um dispositivo que opera com alta tensão e baixa corrente gera ondas de alta impedância (campos "E"). Reciprocamente, se um dispositivo opera com correntes elevadas comparado a sua voltagem, gera campos de baixa impedância (campo "H").

A importância da impedância de onda é posta em evidência quando uma onda de EMI encontra um obstáculo tal como uma proteção de metal. Se a impedância da onda é muito diferente da impedância natural da proteção, a maior parte da energia é refletida e a energia restante é transmitida e absorvida através da superfície .

As emissões eletromagnéticas (EMI) da maioria dos equipamentos comerciais são tipicamente de alta freqüência e alta impedância. A maior parte do campo emitido é do tipo "E". Os metais possuem baixa impedância por causa de sua alta condutividade. É assim que as ondas eletromagnéticas produzidas por campos "E" são refletidas por proteções de metal. Contrariamente, ondas de baixa impedância (campo H dominante) são absorvidas por uma proteção de metal.

Como proteger os equipamentos da EMI?
Para proteger os equipamentos é necessário fazer uma blindagem. Entende-se por blindagem a utilização de materiais condutivos para absorver e/ou refletir a radiação eletromagnética, causando uma abrupta descontinuidade no caminho das ondas. Como já foi comentado para ondas de baixa freqüência a maior parte da energia é refletida pela superfície da blindagem, enquanto que a menor parte é absorvida. Para ondas de alta freqüência geralmente predomina a absorção.

O desempenho da blindagem é uma função das propriedades e configuração do material empregado (condutividade, permeabilidade e espessura), da freqüência, e da distância da fonte de radiação à proteção (blindagem).

Aterramento e Blindagem
O aterramento de um equipamento é de extrema importância para o seu correto funcionamento, devido a segurança e a blindagem eletromagnética.

Todas as partes condutoras de um equipamento elétrico que podem entrar em contato com o usuário, devem ser aterradas para proteger os mesmos de possíveis descargas elétricas. Quando um equipamento está corretamente aterrado, todas as partes condutoras que podem entrar em contato com o usuário tem que ter uma diferença de potencial de zero volts a respeito do aterramento.

A blindagem dos equipamentos é realizada normalmente com placas metálicas formando um gabinete ou caixa. Estas devem estar ligadas umas as outras através de materiais condutores e todas corretamente aterradas.

Quando é necessária a blindagem eletromagnética?
Todo equipamento que gera ondas EMI (exemplo: transistores chaveando cargas a alta freqüência e com altas correntes – inversores) devem possuir blindagem eletromagnética e esta deve estar corretamente aterrada. Principalmente quando são utilizados em conjunto com outros equipamentos eletrônicos.

Blindagens eletromagnéticas típicas:
Gabinetes metálicos utilizados em equipamentos eletrônicos provêem bons níveis de blindagem eletromagnética, a qualidade desta blindagem depende do tipo de metal e espessura utilizada na fabricação dos gabinetes. Plástico e outros materiais não condutores, quando utilizados como gabinetes, podem ser metalizados com pinturas condutivas, camadas de filme metálico, etc.

Portas, aberturas, janelas, painéis de acesso, e outras aberturas em gabinetes são um caminho de entrada e saída das EMIs. Sendo assim é necessário projetar adequadamente este tipo de aberturas para minimizar a radiação emitida e absorvida.

Cabos - Os sinais elétricos transmitidos pelos cabos podem emitir radiação eletromagnética e também podem absorver radiação (se comportam como antenas) provocando falsos sinais que prejudicarão o funcionamento do equipamento. É assim que existem cabos especiais com blindagem para minimizar este tipo de interferências.

Os inversores WEG possuem boa imunidade a interferência eletromagnética externa. É necessário porém seguir estritamente as instruções de instalação (ex.: o gabinete precisa ser aterrado).

Se perto do equipamento houver contatores, será necessário instalar supressores de transientes nas bobinas dos contadores.

8.5 CABOS

O cabo de conexão do inversor com o motor é uma das fontes mais importantes de emissão de radiação eletromagnética. Sendo assim é necessário seguir os seguintes procedimentos de instalação:

- Cabo com blindagem e fio-terra, como alternativa pode ser usado eletroduto metálico com fiação comum interna.
- Blindagem ou eletroduto metálico deve ser aterrado conforme figura 8.1.
- Separar dos cabos de sinal, controle e cabos de alimentação de equipamentos sensíveis.
- Manter sempre continuidade elétrica de blindagem, mesmo que contatores ou relés térmicos sejam instalados entre conversor e o motor.

Cabos de Sinal e Controle:

- Cabo blindado aterrado ou eletroduto metálico aterrado;
- Separação da fiação de potência;
- Caso necessário, cruzamento de cabos, fazê-lo a 90º.
- Caso necessário seguirem na mesma canaleta, usar separador metálico aterrado.

- Cabos paralelos (potência e sinais de controle) separados conforme tabela:

MODELOS	COMPRIMENTO DA FIAÇÃO (m)	DISTÂNCIA MÍNIMA DE SEPARAÇÃO (mm)
Corrente de Saída < 25A ≤ 24A	≤ 100 > 100	100 250
Corrente de Saída > 25A ≥ 28A	≤ 30 > 30	100 250

Afastar os equipamentos sensíveis a interferência eletromagnética (CLP, controladores de temperatura, etc) dos conversores, reatâncias, filtros e cabos do motor (mínimo em 250 mm).

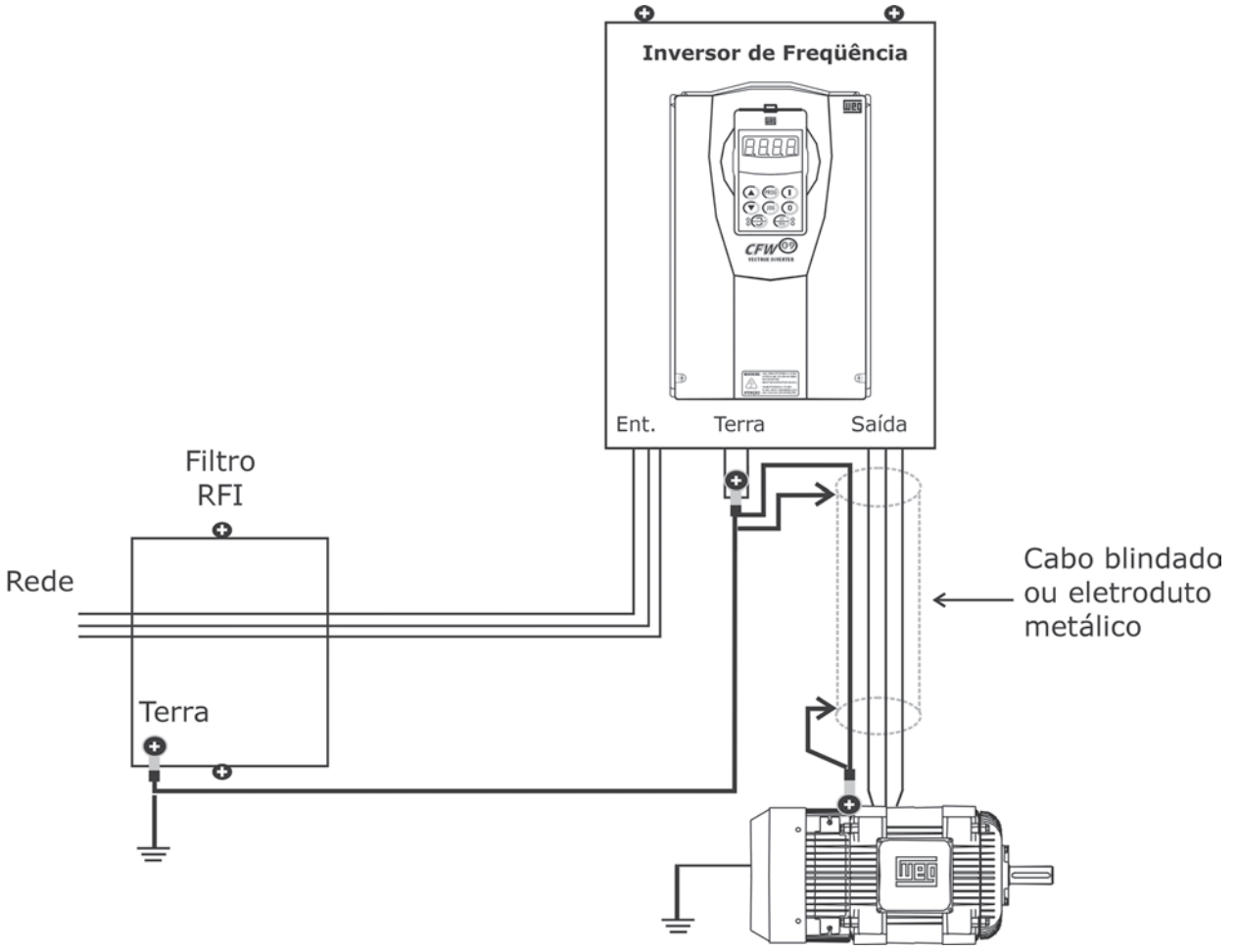


Figura 8.2 - Instalação de equipamentos

8.6 ATERRAMENTO

Aterramento em um Único Ponto

- Filtro + conversor + motor (ver figura 8.2).
- O motor pode também ser aterrado na estrutura da máquina (segurança).
- Nunca utilizar neutro como aterramento.
- Não compartilhe a fiação de aterramento com outros equipamentos que operem altas correntes (motores de alta potência, máquina de solda, etc).
- A malha de aterramento deve ter uma resistência L < 10 Ohms

Recomenda-se usar filtros RC em bobinas de contatores, solenóides ou outros dispositivos similares em alimentação CA. Em alimentação CC usar diodo de roda livre.

Conexão de Resistores de Frenagem Reostática

- Cabo com blindagem aterrada ou eletroduto metálico aterrado.
- Separado dos demais.

A rede elétrica deve estar referenciada ao terra (neutro aterrado na subestação).

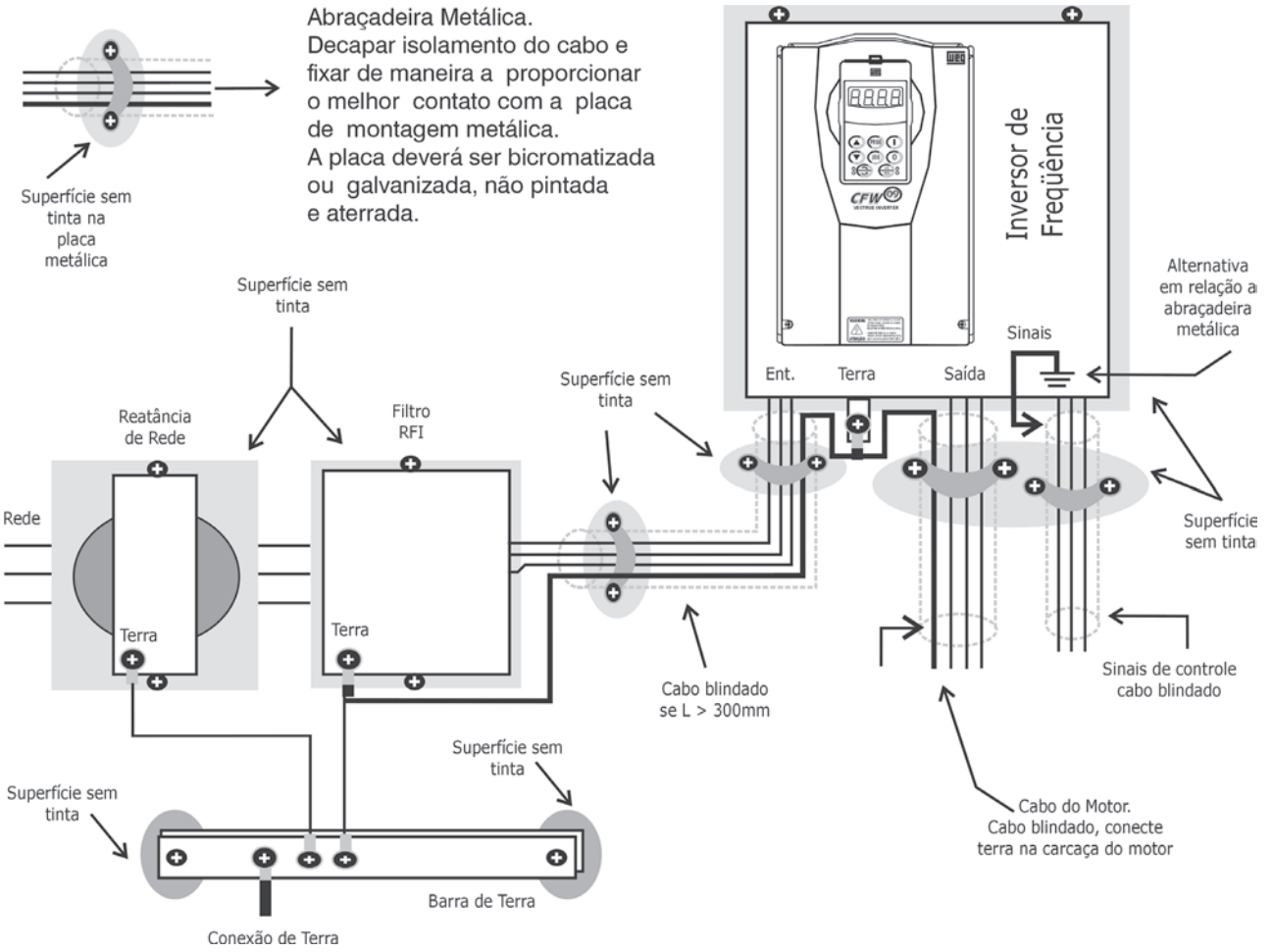


Figura 8.3 - Montagem típica "CE" em placa metálica

8.7 DISPOSITIVOS DE SAÍDA

● RELÉS TÉRMICOS

Os inversores possuem normalmente proteção contra sobrecorrentes que tem como finalidade proteger o motor. Quando mais de um motor é acionado pelo mesmo inversor será necessário colocar um relé térmico de proteção em cada motor. Como o sinal de saída do inversor é chaveado a altas freqüências, podem acontecer disparos nos relés, mesmo sem estes terem atingido a corrente nominal de disparo. Para isto não acontecer é necessário aumentar a corrente de disparo do relé em aproximadamente 10% da corrente nominal do motor.

● **REATÂNCIA DE SAÍDA**

Quando a distância entre motor e inversor é grande (valor dependente do tipo de motor utilizado) podem ocorrer:

A - Sobretensões no motor produzidas por um fenômeno chamado de onda refletida.

B - Geração de capacitâncias entre os cabos de potência que retornam para o inversor produzindo o efeito de "fuga a terra", bloqueando o inversor.

Este tipo de problemas pode ser solucionado utilizando uma reatância entre o motor e o inversor. Esta reatância devem ser projetada especialmente para altas freqüências, pois os sinais de saída do inversor possuem freqüências de até 20 kHz.

8.8 INSTALAÇÃO EM PAINÉIS - PRINCÍPIOS BÁSICOS

As fiações blindadas nos painéis devem ser separadas das fiações de potência e comando.
Os sinais analógicos de controle devem estar em cabos blindados com blindagem aterrada em apenas um lado, sendo efetuado sempre do lado que o sinal é gerado conforme figura 8.4.

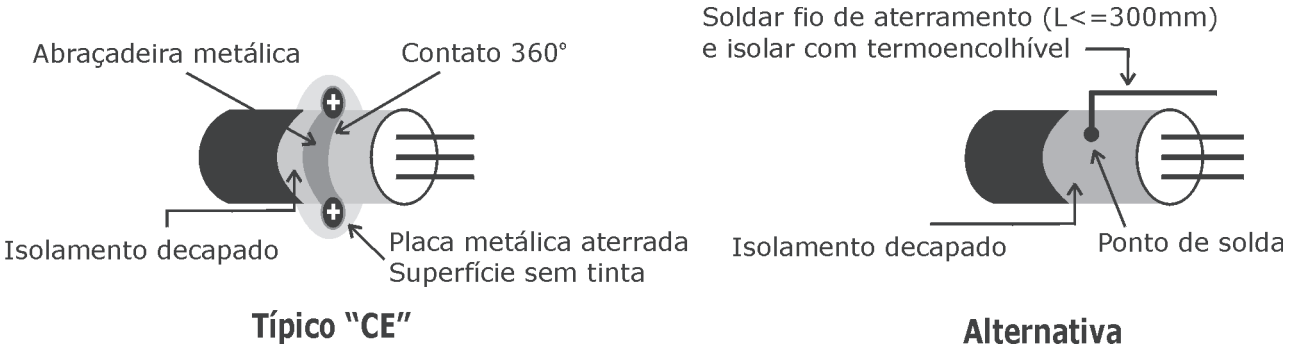


Figura 8.4 - Instalação em painéis

Os sinais de encoder e comunicação serial devem ser aterrados conforme orientação específica no manual do equipamento, o qual estará representado no projeto.
Os cabos de aterramento de barras de ("0V" e malhas) devem ser maior ou igual a 4 mm².

Os cabos de saída de potência dos conversores devem ser separados das demais fiações dentro do painel. Quando não é possível, devem cruzar-se a noventa graus.

Os cabos de entrada de sinais de transdutores tipo isoladores galvânicos devem ser separados dos cabos de saída de sinal dos mesmos.

Os aterramentos dos equipamentos devem ser efetuados rigorosamente conforme tabela de fiação que, por sua vez, deve estar rigorosamente conforme projeto, ou seja, somente devem ser efetuados os aterramentos indicados no projeto, exceto os aterramentos de estrutura, placas, suporte e portas do painel.

Conecte diferentes partes do sistema de aterramento, usando conexões de baixa impedância. Uma cordoalha é uma conexão de baixa impedância para altas freqüências. Mantenha as conexões de aterramento as mais curtas possíveis.

9

LINHA DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA WEG

9.1 Introdução

9.2 Inversor de freqüência CFW-10

9.3 Inversor de freqüência CFW-08

9.4 Inversor de freqüência CFW-09

9.5 Inversor de freqüência MVW-01

9 LINHA DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA WEG

9.1 INTRODUÇÃO

Como sabemos, os inversores de freqüência tem por finalidade controlar a variação de velocidade de motores elétricos de indução trifásicos para aplicações nos mais diversos segmentos industriais.

A linha de inversores de freqüência WEG representa o estado da arte em tecnologia de acionamento de motores elétricos de indução trifásicos, disponibilizando funções e recursos que permitem proteger e controlar os motores elétricos de forma extremamente facilitada e eficaz. Trabalhando com controle escalar ou vetorial, os inversores de freqüência WEG tem como principais aplicações:

- Agitadores e Misturadores;
- Bombas Centrifugas;
- Bombas Dosadoras de Processos;
- Esteiras Transportadoras;
- Filtros Rotativos;
- Granuladores e Pelotizadoras;
- Máquinas de Corte e Solda;
- Máquinas de Papel;
- Mesas de Rolo;
- Secadores e Fornos Rotativos;
- Ventiladores e Exaustores;

Utilizando as mais avançadas técnicas de controle vetorial de fluxo, os inversores vetoriais permitem controlar, além da velocidade, o torque do motor, proporcionando:

- Elevada precisão de velocidade;
- Elevada precisão de torque;
- Otimização do torque de partida;
- Excelente dinâmica;
- Tempo de resposta extremamente reduzido.

Estas características, aliada ao uso de motores de indução trifásicos permitem que os inversores de freqüência sejam utilizados em aplicações onde, até

data recente, somente se utiliza motores de corrente contínua, como:

- Bobinadores e Desbobinadores;
- Rebobinadeiras de Papel;
- Elevadores e Transportadores de Cargas;
- Extrusoras;
- " Spindle " em Máquinas-ferramenta;
- Sistemas Multimotores sincronizados;
- Guinchos, Guindastes e Pontes Rolantes;
- Laminadores de Aço;

Ou seja, consegue-se reduções significativas de custos ampliando-se os níveis de controle necessários á máquina ou processo.

A linha de inversores de freqüência WEG foi concebida para atender às necessidades de mercados exigentes como os mercados norte-americano e europeu. Em decorrência desta concepção, seus produtos encontram-se certificados com os selos UL (EUA), cUL (Canadá) e CE (Comunidade Européia). Os recursos disponíveis variam de acordo com a família.

9.2 INVERSOR DE FREQÜÊNCIA CFW-10

CFW 10
EASYDRIVE

Destinados ao controle e variação da velocidade de motores elétricos de indução trifásicos, os **inversores** da linha ***CFW-10*** reúnem design moderno com tecnologia mundial, onde destacam-se o alto grau de compactação e facilidade de programação.

De simples instalação e operação, este produto dispõe de recursos já otimizados em software, através de interface homem-máquina local, que o habilitam para utilizações em controles de processos e máquinas industriais.

Figura 9.1 - CFW-10

BENEFÍCIOS

- Ótima relação custo/benefício
- Controle com DSP *(Digital Signal Processor)* permite uma sensível melhora no desempenho do inversor
- Eletrônica com componentes SMD
- Modulação PWM Senoidal - *Space Vector Modulation*
- Módulos IGBT de última geração
- Acionamento silencioso do motor
- Interface com teclado de membrana táctil (local)
- Programação flexível
- Dimensões compactas
- Instalação e operação simplificadas
- Alto torque de partida

PRINCIPAIS APLICAÇÕES

- Bombas centrífugas
- Bombas dosadoras de processo
- Ventiladores / Exaustores
- Agitadores / Misturadores
- Esteiras transportadoras
- Mesas de rolos
- Secadores
- Filtros rotativos
- Máquinas de corte e solda

BLOCODIAGRAMA

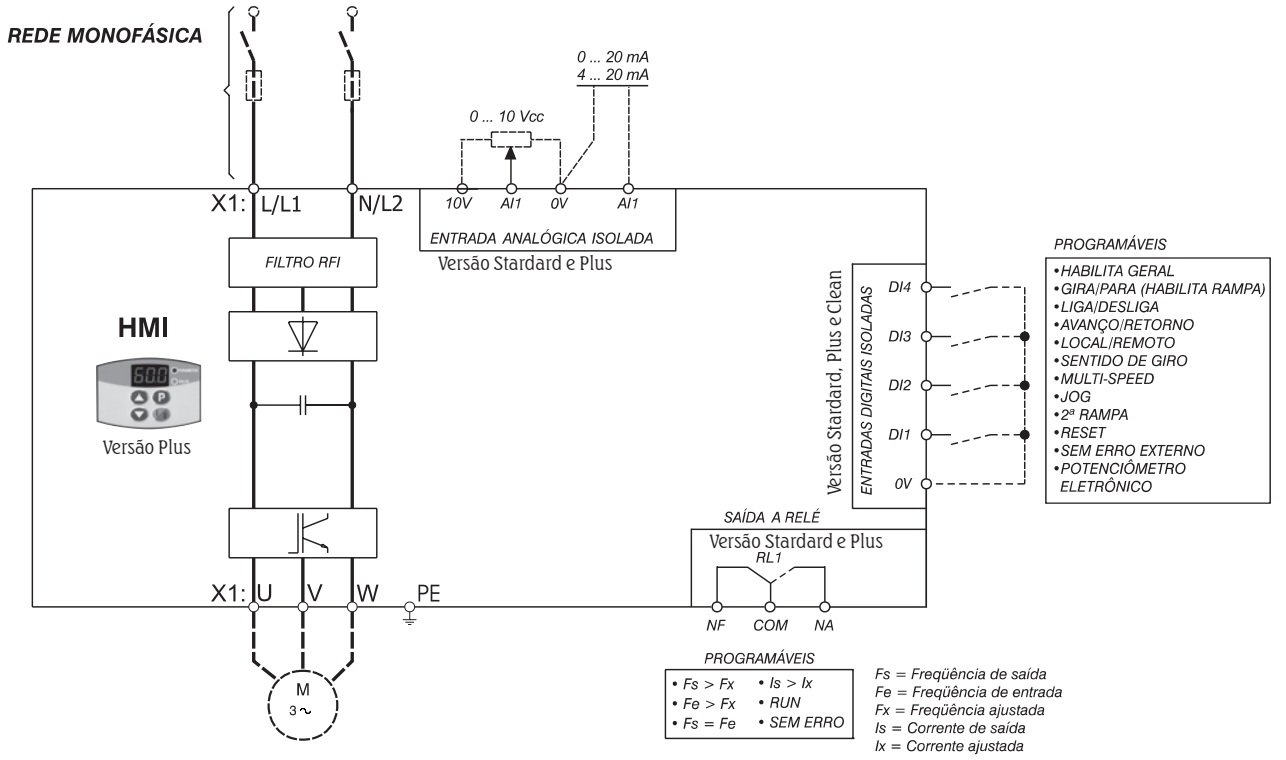


Figura 9.2 - Blocodiagrama CFW-10

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES - CFW-10

Tensão de Rede	INVERSOR CFW-10				Motor Máximo Aplicável			Dimensões (mm)			Peso (kg)
	Alimentação	Modelo	In Saída (A)	Mec.	Tensão (V)	Potência cv	Potência kW	Altura	Largura	Profund.	
110-127	Monofásica	CFW100016S1112PSZ	1,6	1	220	0,25	0,18	132	95	121	0,9
		CFW100026S1112PSZ	2,6	1		0,5	0,37				
		CFW100040S1112PSZ	4,0	2		1,0	0,75	161	115	122	1,5
200-240		CFW100016S2024PSZ	1,6	1		0,25	0,18	132	95	121	0,9
		CFW100026S2024PSZ	2,6	1		0,5	0,37				
		CFW100040S2024PSZ	4,0	1		1,0	0,75				
		CFW100073S2024PSZ	7,3	2		2,0	1,50	161	115	122	1,5
		CFW100100S2024PSZ	10,0	3		3,0	2,20	191			1,8

Notas: As potências máximas dos motores, na tabela acima, foram calculadas com base nos modelos WEG de 2 e 4 pólos.
Para motores de outras polaridades (ex.: 6 a 8 pólos), outras tensões (ex.: 230V) e/ou motores de outros fabricantes, especificar o inversor através da corrente nominal do motor.

CODIFICAÇÃO

CFW10	0040	S	2024	P	O	00	00	00	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1 **Inversor de Freqüência Série CFW-10**

2 **Corrente Nominal de Saída:**

110-127 V		200-240 V	
0016	1,6 A	0016	1,6 A
0026	2,6 A	0026	2,6 A
0040	4,0 A	0040	4,0 A
		0073	7,3 A
		0100	10,0A

3 **Fases de Alimentação**
S = monofásico

4 **Tensão de Alimentação**
1112 = 110-127 V
2024 = 200-240 V

5 **Língua do Manual**
P = português
E = inglês
S = espanhol

6 **Opcionais**
S = standard
O = com opcionais

7 **Cartão de Controle**
00 = standard
CL = clean
PL = plus

8 **Hardware Especial**
00 = não tem
Hx = hardware especial versão X

9 **Software Especial**
00 = não tem
Sx = software especial versão X

10 **Final do código**

Ex.: **CFW100040S2024PSZ**
Inversor de Freqüência Série CFW-10 de 4,0 A, alimentação monofásica em 200-240 Vca, manual em português.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CFW-10

Modelo			CFW-10 - Standard	CFW-10 - Clean	CFW-10 - Plus
ALIMENTAÇÃO	Tensão	Monofásica	110 - 127V: 110 / 127 V (+10%, -15%)		
			200 - 240V: 200 / 220 / 230 / 240 V (+10%, -15%)		
	Freqüência		50 / 60 Hz +/- 2 Hz (48 ... 62 Hz)		
	Cos φ (Fator de deslocamento)		Maior que 0,98		
GRAU PROTEÇÃO	Standard		IP 20		
CONTROLE	Tipo de alimentação		Fonte Chaveada		
	Método de controle		Modulação PWM senoidal (*Space Vector Modulation*), tensão imposta V / F linear ou quadrático (escalar)		
	Chaveamento		Transistores IGBT – Frequências ajustáveis de 2,5 KHZ até 15 KHZ		
	Variação de freqüência		Faixa : 0 ... 300 Hz		
	Resolução de freqüência		Ref. Analógica: 0,1% de Fmáx. e Ref. Digital: 0,01 Hz (f<100Hz); 0,1Hz (f>100Hz)		
	Acuracidade (25ºC ± 10ºC)		Ref. Analógica: 0,5% e Ref. Digital: 0,01%		
	Sobrecarga admissível		150% durante 60 seg. a cada 10 min. (1,5 x Inom.)		
ENTRADAS	Analógicas		1 entrada isolada 0...10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA	-	1 entrada isolada 0...10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA
	Digitais		4 entradas isoladas programáveis		
SAÍDAS	Relé		1 saída programável, 1 contato reversível (NA/NF)	-	1 saída programável, 1 contato reversível (NA/NF)
			Opções de programação: Is > Ix ; Fs > Fx ; Fe > Fx ; Fs = Fe ; Run; Sem erros		
SEGURANÇA	Proteções		Sobretensão e subtensão no circuito intermediário		
			Sobretemperatura no dissipador		
			Sobrecorrente na saída		
			Sobrecarga no motor (i x t)		
			Erro de hardware, defeito externo		
			Curto-circuito na saída		
			Erro de programação		
INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (HMI)	Comando		Liga / Desliga , Parametrização (Programação de funções gerais)		
			Incrementa / Decrementa Freqüência (Velocidade)		
			-	-	Potenciômetro pata ajuste de velocidade
	Supervisão (leitura)		Freqüência de saída no motor (Hz)		
			Tensão no circuito intermediário (V)		
			Valor proporcional à freqüência		
			Temperatura do dissipador		
			Corrente de saída no motor (A)		
			Tensão de saída no motor (V)		
			Mensagens de Erros / Defeitos		
CONDIÇÕES AMBIENTE	Temperatura		0 ... 50 °C (sem redução na corrente de saída)		
	Umidade		5 ... 90% sem condensação		
	Altitude		0 ... 1000 m (até 4000 m com redução de 10% / 1000 m na corrente de saída)		
ACABAMENTO	Cor		Cinza Ultra Fosco - Padrão WEG 205E1404		
CONFORMIDADES/NORMAS	Compatibilidade Eletromagnética		EMC diretiva 89 / 336 / EEC – Ambiente Industrial (Filtro opcional)		
			Norma EN 61800-3 (EMC - Emissão e Imunidade)		
	Baixa tensão		LVD 73/23/EEC - Diretiva de Baixa Tensão / UL 508C		
RECURSOS	Funções Especiais		Interface Homem-Máquina incorporada - Display de LED's 7 segmentos		
			Senha de habilitação para programação		
			Auto-diagnóstico de defeitos e Auto-Reset		
			Indicação de grandeza específica (programável)		
			Compensação de escorregamento (controle V/F)		
			I x R manual e automático		
			Curva V/F linear e quadrática ajustáveis		
			Função JOG (impulso momentâneo de velocidade)		
			Rampas linear e tipo "S" e dupla rampa		
			Rampas de aceleração e desaceleração (independentes)		
			Frenagem CC (corrente contínua)		
			Função Multi-Speed (até 8 velocidades pré-programadas)		
			Seleção do sentido de rotação		
			Seleção para operação Local / Remoto		

9.3 INVERSOR DE FREQÜÊNCIA CFW-08

Destinados ao controle e variação da velocidade de motores elétricos de indução trifásicos, os **inversores** da linha ***CFW-08*** reúnem design moderno com tecnologia estado da arte mundial, onde destacam-se o alto grau de compactação e o elenco de funções especiais disponíveis.

Figura 9.3 - CFW-08

De simples instalação e operação, este produto dispõe de recursos já otimizados em software, facilmente parametrizáveis através de interface homem-máquina simples, que habilitam-no para utilização em controle de processos e máquinas industriais. Além disto, utilizando técnicas de compensação de distorção de tempo morto, o CFW-08 Plus evita instabilidade no motor e possiblita o aumento de torque em baixas velocidades.

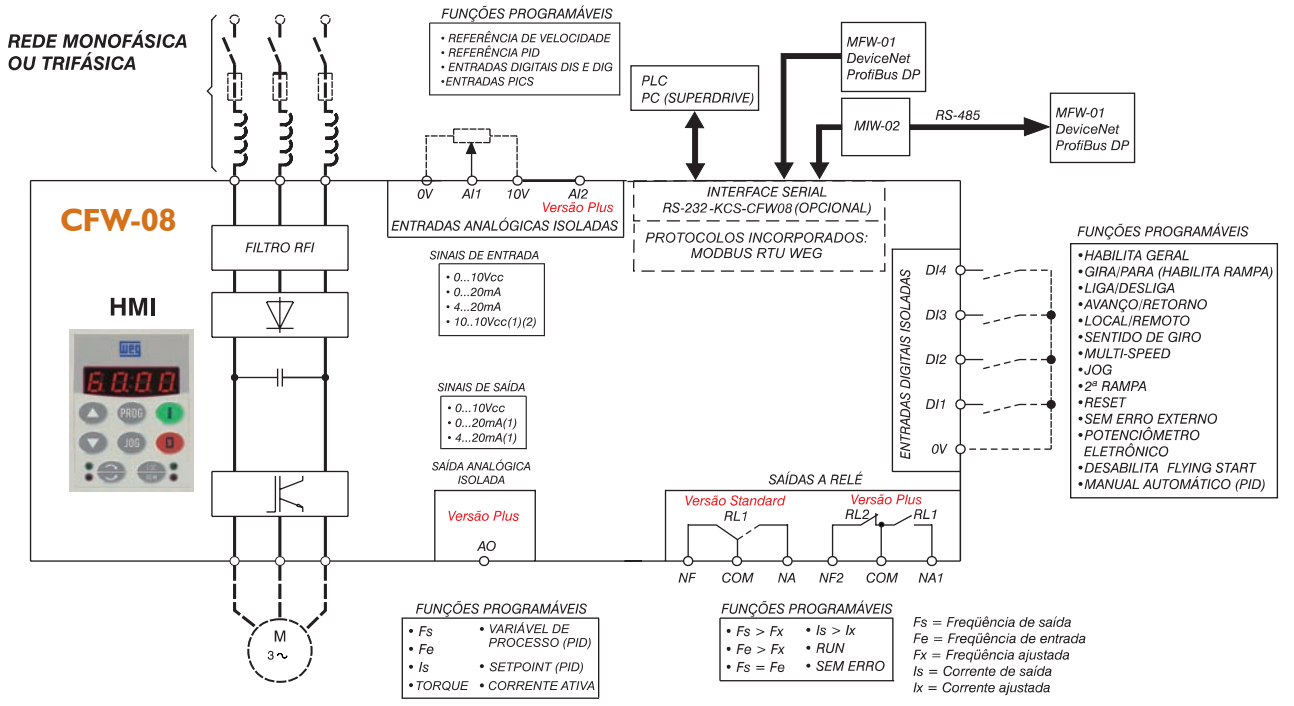
BENEFÍCIOS

- Controle com DSP *(Digital Signal Processor)* permite uma sensível melhora no desempenho do inversor
- Tecnologia estado da arte
- Eletrônica com componentes SMD
- Controle Escalar ou Vetorial Sensorless
- Modulação PWM Senoidal - *Space Vector Modulation*
- Módulos IGBT de última geração
- Acionamento silencioso do motor
- Interface com teclado de membrana táctil (HMI padrão e remota)
- Programação flexível
- Dimensões compactas
- Instalação e operação simplificadas
- Alto torque de partida
- Kit para instalação em eletrodutos
- Opção de filtros EMC interno (classe A) e externo (classe B)

PRINCIPAIS APLICAÇÕES

- Bombas centrífugas
- Bombas dosadoras de processo
- Ventiladores / Exaustores
- Agitadores / Misturadores
- Extrusoras
- Esteiras transportadoras
- Mesas de rolos
- Granuladores / Peletizadoras
- Secadores / Fornos rotativos
- Filtros rotativos
- Bobinadores / Desbobinadores
- Máquinas de corte e solda

BLOCODIAGRAMA



(1) Somente disponível na mecânica 4
(2) Cartão de controle A2

Figura 9.3 - Blocodiagrama CFW-08

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES - CFW-08

Tensão de Rede	INVERSOR CFW-08				Motor Máximo Aplicável			Dimensões (mm)			Peso (kg)
	Alimentação	Modelo	In Saída (A)	Mec.	Tensão (V)	Potência (1) CV	Potência (1) kW	Altura	Largura	Profund.	
200/220/230/240V	Monofásica	CFW080016S2024PSZ	1,6	1	220	0,25	0,18	151	75	131	1,0
		CFW080026S2024PSZ	2,6	1		0,5	0,37				
		CFW080040S2024PSZ	4,0	1		1,0	0,75				
	Monofásica ou Trifásica	CFW080016B2024PSZ	1,6	1	220	0,25	0,18	151	75	131	1,0
		CFW080026B2024PSZ	2,6	1		0,5	0,37				
		CFW080040B2024PSZ	4,0	1		1,0	0,75				
		CFW080073B2024PSZ	7,3	2*		2,0	1,5	200	115	150	2,0
		CFW080100B2024PSZ	10,0	2*		3,0	2,2				
	Trifásica	CFW080070T2024PSZ	7,0	1	220	2,0	1,5	151	75	131	1,0
		CFW080160T2024PSZ	16,0	2*		5,0	3,7	200	115	150	2,0
		CFW080170T2024POH3Z	17,0	2*		5,0	3,7				
		CFW080220T2024PSZ	22,0	3*		7,5	5,5	203	143	165	2,5
		CFW080280T2024PSZ	28,0	4*		10,0	7,5	290	182	196	6,0
		CFW080330T2024PSZ	33,0	4*		12,5	9,5				
380/400/415/440/460/480V	Trifásica	CFW080010T3848PSZ	1,0	1	380	0,25	0,18	151	75	131	1,0
		CFW080016T3848PSZ	1,6	1		0,5	0,37				
		CFW080026T3848PSZ	2,6	1		1,0	0,75				
		CFW080040T3848PSZ	4,0	1		2,0	1,5				
		CFW080027T3848PSZ	2,7	2*		1,5	1,1	200	115	150	2,0
		CFW080043T3848PSZ	4,3	2*		2,0	1,5				
		CFW080065T3848PSZ	6,5	2*		3,0	2,2				
		CFW080100T3848PSZ	10,0	2*		5,0	3,7				
		CFW080130T3848PSZ	13,0	3*		7,5	5,5	203	143	165	2,5
		CFW080160T3848PSZ	16,0	3*		10,0	7,5				
		CFW080240T3848PSZ	24,0	4*		15,0	11,3	290	182	196	6,0
		CFW080300T3848PSZ	30,0	4*		20,0	15,0				
	Trifásica	CFW080010T3848PSZ	1,0	1	440	0,33	0,25	151	75	131	1,0
		CFW080016T3848PSZ	1,6	1		0,75	0,55				
		CFW080026T3848PSZ	2,6	1		1,5	1,1				
		CFW080040T3848PSZ	4,0	1		2,0	1,5				
		CFW080027T3848PSZ	2,7	2*		1,5	1,1	200	115	150	2,0
		CFW080043T3848PSZ	4,3	2*		2,0	1,5				
		CFW080065T3848PSZ	6,5	2*		3,0	2,2				
		CFW080100T3848PSZ	10,0	2*		5,0	3,7				
		CFW080130T3848PSZ	13,0	3*		7,5	5,5	203	143	165	2,5
		CFW080160T3848PSZ	16,0	3*		10,0	7,5				
		CFW080240T3848PSZ	24,0	4*		15,0	11,3	290	182	196	6,0
		CFW080300T3848PSZ	30,0	4*		20,0	15,0				

Notas:
1) As potências máximas dos motores, na tabela acima, foram calculadas com base nos modelos WEG de 2 e 4 pólos. Para motores de outras polaridades (ex.: 6 a 8 pólos), outras tensões (ex.: 230V, 400V e 460V) e/ou motores de outros fabricantes, especificar o inversor através da corrente nominal do motor.
* Os inversores de frequência das mecânicas 2 e 3 possuem frenagem reostática, somente a mecânica 1 não possui.

MODELOS E ACESSÓRIOS OPCIONAIS

PADRÃO

Modelo com HMI padrão (HMI-CFW08-P)

TCL - CFW08

Modelo opcional sem HMI (com tampa cega)

MÓDULO DE INTERFACE SERIAL KCS-CFW08

Kit opcional: Módulo de Comunicação serial RS-485 (KRS-485-CFW08)

MÓDULO DE INTERFACE SERIAL KCS-CFW08

Kit opcional: Comunicação serial RS-232 (KCS-CFW08)

MÓDULO INTERFACE MIS-CFW08-RS

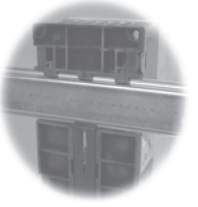
Kit opcional: Interface para HMI remota serial (HMI-CFW08-RS)

MÓDULO INTERFACE MIP-CFW08-RP

Kit opcional: Interface para HMI remota paralela (HMI-CFW08-RP)

KMD-CFW08-M1

Kit opcional: Base de fixação em trilho DIN (somente mecânica 1)



KN1-CFW08-MX

Kit opcional: Conexão em eletroduto metálico (NEMA 1/IP21) (disponível para mecânicas 1 e 2)

INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA

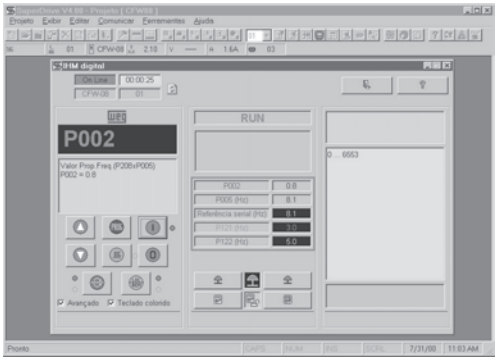
Modelo com interface MIP-CFW8-RP de interface com HMI remota paralela

Modelo com interface MIS-CFW8-RS de interface com HMI remota serial

HMI-CFW08-RP
HMI remota
paralela

HMI-CFW08-RS
HMI remota serial

Figura 9.4 - HMI CFW-08



SUPERDRIVE

Software de programação via microcomputador PC, em ambiente Windows para parametrização, comando e monitoração do inversor CFW-08

Modelo com
Kit SUPERDRIVE
KSD-CFW08

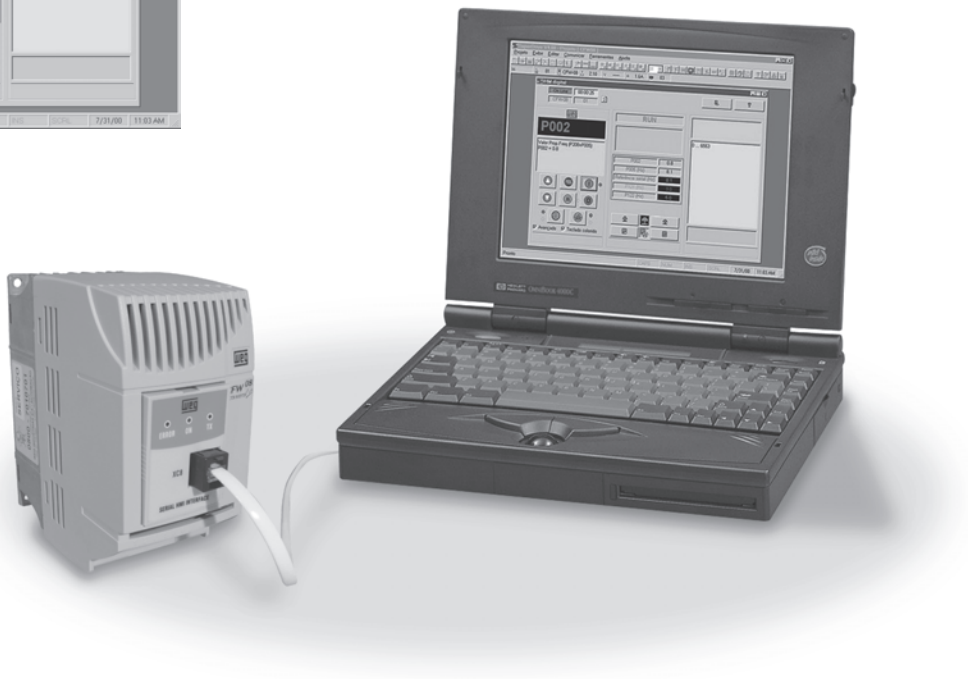


Figura 9.5 - SuperDrive

CODIFICAÇÃO

CFW08	0040	B	2024	P	O	00	00	00	00	00	00	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1 **Inversor de Freqüência Série CFW-08**

2 **Corrente Nominal de Saída:**

200-240 V		380-480 V	
0016	1,6 A	0010	1,0 A
0026	2,6 A	0016	1,6 A
0040	4,0 A	0026	2,6 A
0070	7,0 A	0027	2,7 A
0073	7,3 A	0040	4,0 A
0100	10 A	0043	4,3 A
0160	16 A	0065	6,5 A
0170	17 A	0100	10 A
0220	22 A	0130	13 A
0280	28 A	0160	16 A
0330	33 A	0240	24 A
		0300	30 A

3 **Fases de Alimentação**
S = Monofásico
T = Trifásico
B = Monofásico ou Trifásico

4 **Tensão de Alimentação**
2024 = 200-240 V
3848 = 380-480 V

5 **Língua do Manual**
P = português
E = inglês
S = espanhol

6 **Opcionais**
S = standard
O = com opcionais

7 **Grau de Proteção**
00 = standard
N1 = Nema 1

8 **Interface Homem-Máquina**
00 = standard
SI = sem interface

9 **Cartão de Controle**
00 = standard (CFW08 standard)
A1 = controle 1 (CFW08 plus)
A2 = Controle 2 (1)

10 **Filtro de EMI**
00 = não tem
FA = filtro classe A interno

11 **Hardware Especial**
00 = não tem
Hx = hardware especial versão X

12 **Software Especial**
00 = não tem
Sx = software especial versão X

13 **Final do código**

Ex.: **CFW080040B2024POA1Z**
Inversor de Freqüência Série CFW-08 de 4,0 A, alimentação monofásica ou trifásica em 200-240 Vca, manual em
português e cartão de controle 1 (CFW-08 Plus)
(1) Somente disponível na mecânica 4

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CFW-08

Modelo			CFW-08 Standard	CFW-08 Plus
ALIMENTAÇÃO	Tensão	Monofásica	200 - 240V: 200 / 220 / 230 / 240 V (+10%, -15%)	
		Trifásica	200 - 240V: 200 / 220 / 230 / 240 V (+10%, -15%)	
			380 - 480V: 380 / 400 / 415 / 440 / 460 / 480 V (+10%, -15%)	
	Freqüência		50 / 60 Hz +/- 2 Hz (48 ... 62 Hz)	
	Cos φ (Fator de deslocamento)		Maior que 0,98	
GRAU DE PROTEÇÃO	Inversor	Standard	NEMA 1 (IP21) nos modelos 13 e 16 A / 380-480 V e IP 20 nos demais modelos	
		Opcional	NEMA 1 (IP21) com kit adicional para conexão em eletroduto metálico (KN1-CFW08-MX)	
	IHM	Opcional	IHM Remota paralela NEMA 12 (IP54) (HMI-CFW08-RP)	
			IHM Remota serial NEMA 12 (IP54) (HMI-CFW08-RS)	
CONTROLE	Tipo de alimentação		Fonte Chaveada	
	Método de controle		DSP (Digital Signal Processor), 16 bits, modulação PWM senoidal (*Space Vector Modulation*)	
	Tipos de controle		Tensão imposta V / F linear ou quadrático (escalar)	
			Controle vetorial sensorless (VVC: *Voltage Vector Control)*	
	Chaveamento		Transistores IGBT – Frequências Selecionáveis : 2,5 / 5,0 / 10 / 15 kHz	
	Variação de freqüência		Faixa : 0 ... 300 Hz	
	Resolução de freqüência		Ref. Analógica: 0,1% de Fmáx. e Ref. Digital: 0,01 Hz (f<100Hz); 0,1Hz (f>100Hz)	
	Acuracidade (25°C ± 10°C)		Ref. Analógica: 0,5% e Ref. Digital: 0,01%	
PERFORMANCE	Sobrecarga admissível		150% durante 60 seg. a cada 10 min. (1,5 x Inom.)	
	Rendimento		Maior que 95%	
	Controle de velocidade (modo escalar)	V / F	Regulação : 1 % da velocidade nominal c/ compensação de escorregamento	
			Resolução : 1 rpm (referência via teclado)	
			Faixa de regulação de velocidade = 1 : 20	
	Controle de velocidade (modo vetorial)	Sensorless	Regulação : 0,5 % da velocidade nominal	
			Resolução : 1 rpm (referência via teclado)	
			Faixa de regulação de velocidade = 1 : 30	
ENTRADAS	Analógicas		1 entrada isolada 0...10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA	2 entradas isoladas 0...10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA
	Digitais		4 entradas isoladas programáveis	
SAÍDAS	Relé		1 saída programável, 1 contato reversível (NA/NF)	2 saídas programáveis , 1 NA e 1 NF
			Opções de programação: Is > Ix ; Fs > Fx ; Fe > Fx ; Fs = Fe ; Run; Sem erros	
	Analógica		-	1 Saída Analógica isolada 0 - 10 V (8 bits)
COMUNICAÇÃO	Interface serial		RS-232 ou RS-485 (opcional)	
	Redes "*Field Bus*"		Unidade para comunicação ProfiBus DP ou DeviceNet (opcional) e Modbus RTU (incorporado)	
SEGURANÇA	Proteções		Sobretensão e subtensão no circuito intermediário	
			Sobretemperatura	
			Sobrecorrente na saída	
			Sobrecarga no motor (i x t)	
			Erro de hardware, defeito externo e erro de comunicação serial	
			Curto-circuito na saída e curto-circuito fase-terra na saída	
			Erro de programação e erro de auto-ajuste	
INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (IHM)	Comando		Liga / Desliga , Parametrização (Programação de funções gerais)	
			Incrementa / Decrementa Freqüência (Velocidade)	
			JOG, Inversão de sentido de rotação e Seleção Local / Remoto	
	Supervisão (leitura)		Freqüência de saída no motor (Hz)	
			Tensão no circuito intermediário (V)	
			Valor proporcional à freqüência (Ex.:RPM)	
			Temperatura do dissipador	
			Corrente de saída no motor (A)	
			Tensão de saída no motor (V)	
			Mensagens de Erros / Defeitos	
			Torque de Carga	
CONDIÇÕES AMBIENTES	Temperatura		0 ... 40 °C (até 50 °C com redução de 2% / °C na corrente de saída)	
	Umidade		5 ... 90% sem condensação	
	Altitude		0 ... 1000 m (até 4000 m com redução de 10% / 1000 m na corrente de saída)	
ACABAMENTO	Cor		Cinza claro – PANTONE – 413 C	
CONFORMIDADES/ NORMAS	Compatibilidade Eletromagnética		EMC diretiva 89 / 336 / EEC – Ambiente Industrial; Norma EN 61800-3 (EMC - Emissão e Imunidade)	
	Baixa tensão		LVD 73/23/EEC - Diretiva de Baixa Tensão / UL 508C	
	Norma IEC 146		Inversores a semicondutores	
	Norma UL 508 C		Equipamentos para conversão de energia	
	Norma EN 50178		Equipamentos eletrônicos para uso em instalações de potência	
	Norma EN 61010		Requisitos de segurança p/ equiptos elétricos p/ uso em medição, controle e laboratórios	
CERTIFICAÇÕES	UL (EUA) e cUL (CANADÁ)		Underwriters Laboratories Inc. / EUA	
	CE (EUROPA)		SGS / Inglaterra	
	IRAM (ARGENTINA)		Instituto Argentino de Normalização	
	C-Tick (AUSTRÁLIA)		Australian Communications Authority	

(1) Somente disponível na mecânica 4,
(2) Cartão de controle A2,

RECURSOS / FUNÇÕES ESPECIAIS

Standard / Plus

Interface Homem-Máquina incorporada - Display de LED's 7 segmentos
Senha de habilitação para programação
Auto-diagnóstico de defeitos e Auto-Reset
Indicação de grandeza específica (programável) - Ex.: m/min; rpm, etc)
Compensação de escorregamento (controle V/F)
I x R manual e automático
Curva V/F linear e quadrática ajustáveis
Rotina de auto-ajuste (controle vetorial *sensorless*)
Frenagem reostática
Função JOG (impulso momentâneo de velocidade)
Função "COPY" via Interface Homem-Máquina Remota (HMI-CFW08-RS)
Rampas linear e tipo "S" e dupla rampa
Rampas de aceleração de desaceleração (independentes)
Frenagem CC (corrente contínua)
Função Multi-Speed (até 8 velocidades pré-programadas)
Seleção do sentido de rotação
Seleção para operação Local / Remoto
Regulador PID superposto (controle automático de nível, pressão, etc)
Partida com o motor girando (*Flying Start*)
Rejeição de freqüências críticas ou ressonantes (*Skip Frequency*)
Operação durante falhas momentâneas da rede (*Ride-through*)
Protocolo de cominicação ModBus RTU (incorporado)

Opcionais

Interface Homem-Máquina remota paralela (Display de LED's 7 segmentos)		HMI-CFW08-RP
Interface Homem-Máquina remota serial (Display de LED's 7 segmentos)		HMI-CFW08-RS
Módulo de Interface para HMI Remota Serial		MIIS-CFW08-RS
Módulo de Interface para HMI Remota Paralela		MIP-CFW08-RP
Cabo para Interligação da HMI Remota Serial (1; 2 ; 3 ; 5 ; 7,5 e 10 m)		CAB-RS-X
Cabo para Interligação da HMI Remota Paralela (1; 2 ; 3 ; 5 ; 7,5 e 10 m)		CAB-RP-X
Módulo de Comunicação Serial RS-232		KCS-CFW08
Conversor RS-232 para RS-485 (necessário módulo MCS-CFW08)		MIIW-02
Software de programação via microcomputador PC		SUPERDRIVE
Kit NEMA 1 para conexão de eletroduto metálico		KN1-CFW08-MX
Kit para montagem em Trilho DIN		KMD-CFW08-M1
Kit de fixação		KFIX-CFW08-MX
Unidades para Redes de Comunicação *FieldBus*	ProfiBus DP	MFW-01 / PD
	DeviceNet	MFW-01 / DN
Filtro EMC com alta capacidade de atenuação (Classe A interno)		–
Filtro EMC com alta capacidade de atenuação (Classe B externo)		–

9.4 INVERSOR DE FREQÜÊNCIA CFW-09

CFW 09
VECTRUE INVERTER

Os inversores de freqüência WEG, série ***CFW-09***, incorporam a mais avançada tecnologia disponível mundialmente para acionamento de motores CA de indução trifásicos.

A tecnologia ***"Vectrue ®"*** representa um avanço significativo, permitindo à nova geração de inversores WEG incorporar em um único produto técnicas de controle *Escalar, Vetorial Sensorless e Vetorial com Encoder*, sendo facilmente programável via parâmetro, pelo próprio usuário.

Inovações também foram introduzidas para atender aplicações que exigem frenagem, onde um novo recurso denominado ***"Optimal Braking ®"*** pode ser utilizado sem a necessidade de instalação de resistor de frenagem, tornando a solução simples, compacta e mais econômica.

Figura 9.6 - CFW-09

VECTRUE TECHNOLOGY ®

Tecnologia desenvolvida pela WEG para inversores destinados a aplicações de variação de velocidade em motores CA de indução trifásicos, apresentando as seguintes vantagens:

- ☑ Controle escalar ou vetorial programáveis no mesmo produto
- ☑ Controle vetorial com sensorless ou opcionalmente com encoder
- ☑ Controle vetorial sensorless permitindo alto torque e rapidez na resposta, mesmo em velocidades muito baixas ou na partida
- ☑ Auto-ajuste adaptando automaticamente o controle vetorial ao motor e à carga.

OPTIMAL BRAKING ® ***(Patente Registrada)***
Para aplicações que exijam tempos de parada reduzidos e/ou paradas de cargas de elevada inércia, os inversores tradicionais utilizam-se da Frenagem Reostática, onde a inércia cinética da carga é regenerativa ao link DC do inversor e cujo excesso é dissipado sob forma de calor em um resistor de frenagem interligado ao circuito de potência.

Os inversores CFW-09 incorporam a função *"Optimal Braking ®"* para o modo vetorial, a qual possibilita uma frenagem ótima capaz de atender a muitas aplicações até então somente atendidas pelo método da frenagam reostática.

Esta inovação tecnológica permite obter acionamentos de alta performance dinâmica, com torques frenantes da ordem de 5 vezes o torque característico de uma frenagem CC, além da grande vantagem de dispensar o uso do resistor de frenagem.

No gráfico comprova-se as vantagens deste novo método de frenagem *"Optimal Braking ® "*, assegurando assim uma solução ideal, otimizada e de custo reduzido para as aplicações com frenagem.

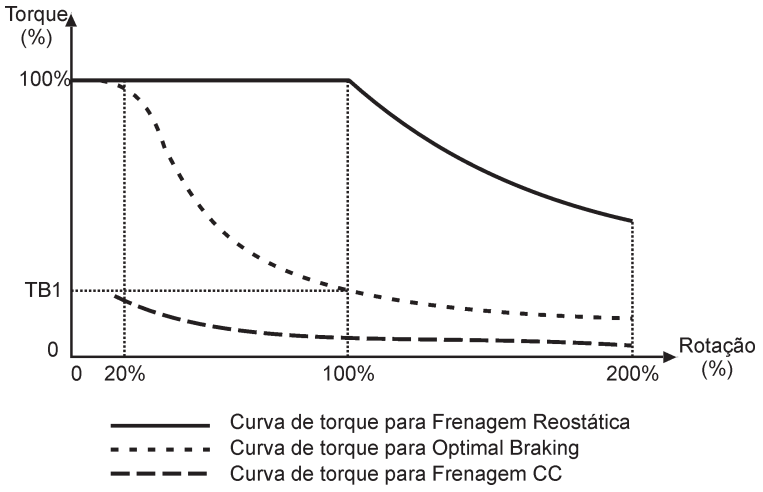


Figura 9.7 - Gráfico Torque x Rotação típico para motor de 10cv acionado por inversor CFW-09

VANTAGENS ADICIONAIS

- ☑ Microcontrolador de alta performance tipo RISC 32 bits;
- ☑ Controle Vetorial e Escalar selecionável via parâmetro;
- ☑ Interface Homem-Máquina destacável com duplo display (LCD e LED);
- ☑ Ampla gama de potências: 1... 1500 CV;
- ☑ Dimensionamentos para Torque Constante e Torque Variável;
- ☑ Grau de proteção NEMA 1 / IP 20 padrão até 200 CV, IP 20 até 500 CV e NEMA 4x / IP 56 em aço inox até 10 CV;
- ☑ Elevada compactação;
- ☑ Instalação e programação simplificadas;
- ☑ Posta em marcha (*start-up*) orientado;
- ☑ Possibilidade de fixação via flange, com dissipador atrás da placa de montagem;
- ☑ Programação e monitoração via microcomputador PC com software SUPERDRIVE (opcional);
- ☑ Link DC acessível para alimentação em corrente contínua ou retificador regenerativo;
- ☑ Comunicação em redes FieldBus: ProfiBus DP ou DeviceNet (opcional). Também disponível Modbus RTU (incorporado);
- ☑ Certificações Internacionais UL e cUL, CE, C-Tick e IRAM.

Figura 9.8 - CFW-09

APLICAÇÕES

QUÍMICO e PETROQUÍMICO
Ventiladores / Exaustores
Bombas Centrífugas
Bombas Dosadoras / Processo
Centrífugas
Agitadores / Misturadores
Compressores
Extrusoras de Sabão

AÇÚCAR e ÁLCOOL
Centrífugas de Açúcar
Bombas de Processo
Esteiras de Cana
Dosadores de Bagaço
Esteiras Transportadoras

ALIMENTOS e RAÇÃO
Bombas Dosadoras / Processo
Ventiladores / Exaustores
Agitadores / Misturadores
Secadores / Fornos Contínuos
Peletizadoras
Nórias (Bovinos/Suinos/Aves)
Esteiras / Monovias

CERÂMICO
Ventiladores / Exaustores
Secadores / Fornos Contínuos
Moinhos de Bolas
Mesas de Rolos
Esmaltadeiras
Esteiras Transportadoras

MADEIRA
Faqueadeiras
Tornos Desfolhadores
Lixadeiras
Cortadeiras

PLÁSTICO e BORRACHA
Extrusoras
Injetoras / Sopradoras
Misturadores
Calandras / Puxadores
Bobinadores / Desbobinadores
Máquinas de Corte e Solda
Granuladores

SUCOS e BEBIDAS
Bombas Dosadoras / Processo
Engarrafadoras
Agitadores / Misturadores
Mesas de Rolos
Esteiras Transportadoras

TÊXTIL
Agitadores / Misturadores
Secadores / Lavadoras
Teares Circulares
Filatórios
Molinelos / Cardas
Urdideiras / Maçaroqueiras
Bobinadores

VIDROS
Ventiladores / Exaustores
Máquina de Fabricar Garrafas
Mesas de Rolos
Esteiras Transportadoras

SANEAMENTO
Bombas Centrífugas
Sistemas de Recalque
Sistemas "Bloosters"

PAPEL e CELULOSE
Bombas Dosadoras
Bombas de Processo
Ventiladores / Exaustores
Agitadores / Misturadores
Filtros Rotativos
Fornos Rotativos
Esteiras de Cavaco
Máquinas de Papel
Rebobinadeiras de Papel
Calandras
Coaters

CIMENTO e MINERAÇÃO
Ventiladores / Exaustores
Bombas
Peneiras / Mesas Vibratórias
Separadores Dinâmicos
Esteiras Transportadoras
Forno de Cimento
Dosadores

SIDERURGIA e METALURGIA
Ventiladores / Exaustores
Mesas de Rolos
Bobinadores / Desbobinadores
Transportadores
Pontes Rolantes
Prensas / Tornos / Fresas
Furadeiras / Retíficas
Laminadores
Linhas de Corte
Linhas de Inspeção de Chapas
Linhas de Lingotamento
Formadora de Tubos
Trefilas
Bombas

REFRIGERAÇÃO
Bombas de Processo
Ventiladores / Exaustores
Sistemas de Ar Condicionado

ELEVADORES
Elevadores de Carga
Elevadores de Passageiros
Pórticos Rolantes
Guindastes

UM PRODUTO COMPLETO, FLEXÍVEL E COMPACTO

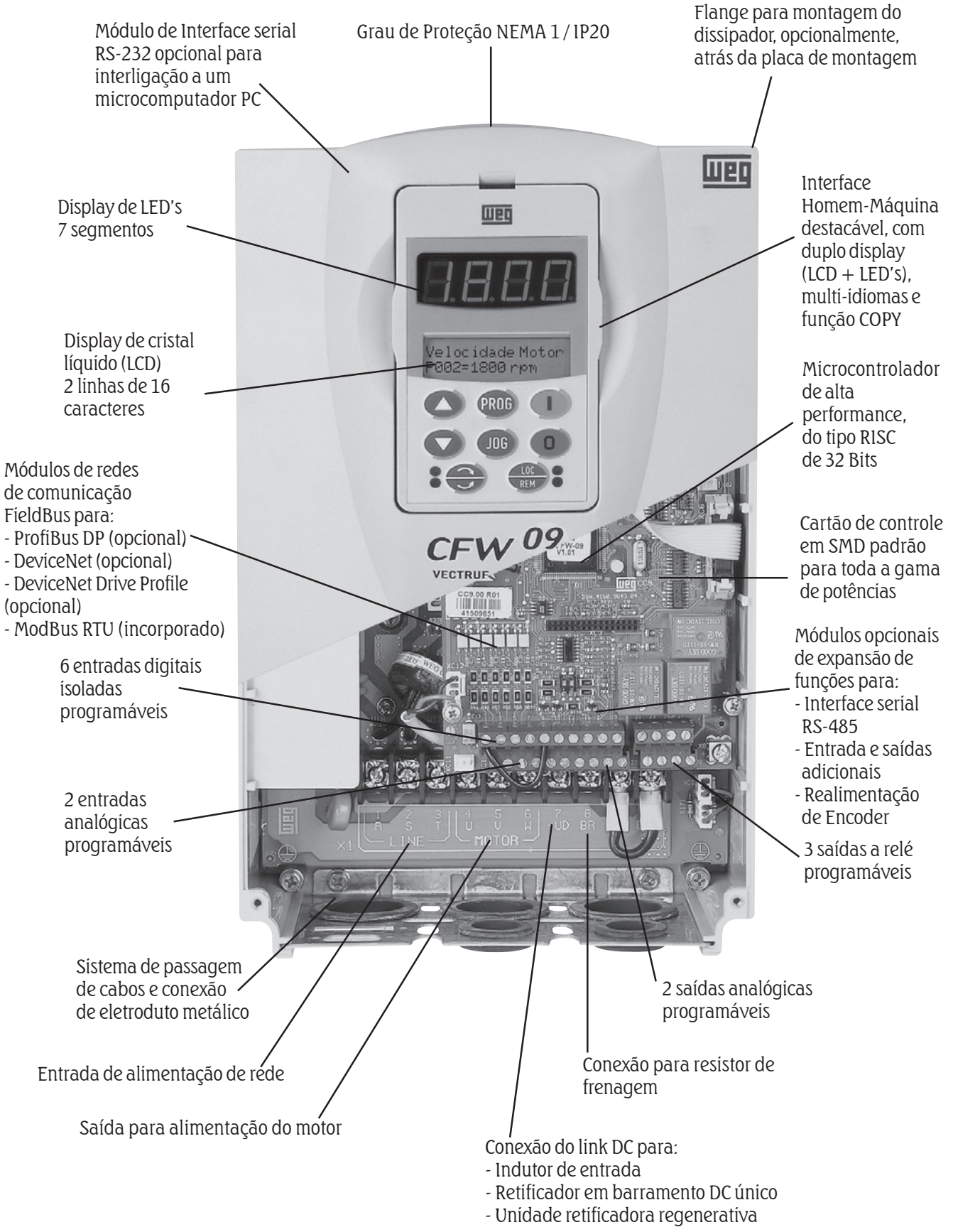


Figura 9.9 - Detalhes do CFW-09

TIPOS DE MONTAGEM

Os inversores CFW-09 permitem montagem flexível, sendo possível, além do modo de fixação tradicional pela **Base**, também o modo de fixação pela **Flange**, possibilitando desta forma montar o dissipador de calor para trás da placa de montagem.

Esta opção de montagem resultará em uma canalização do ar quente gerado pelos componentes de potência dentro do painel, facilitando assim sua condução para fora do mesmo e ainda permitirá minimizar o sobreaquecimento do inversor decorrente das fontes geradoras de calor periféricas dentro do painel.

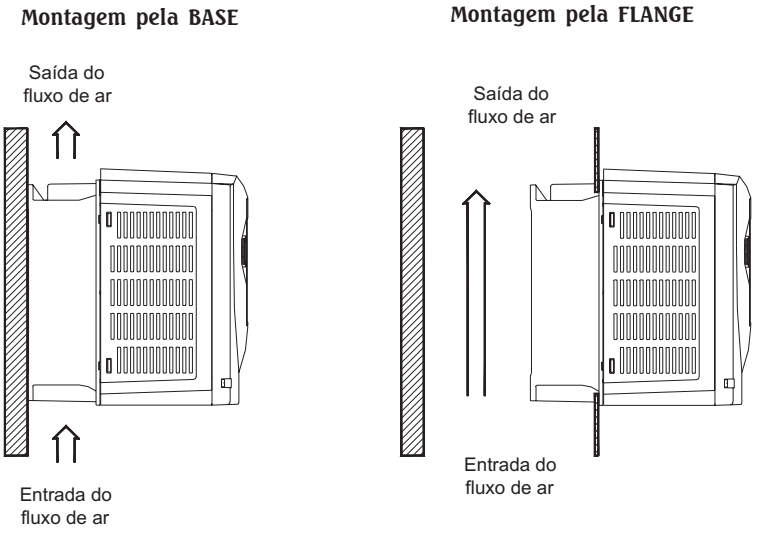
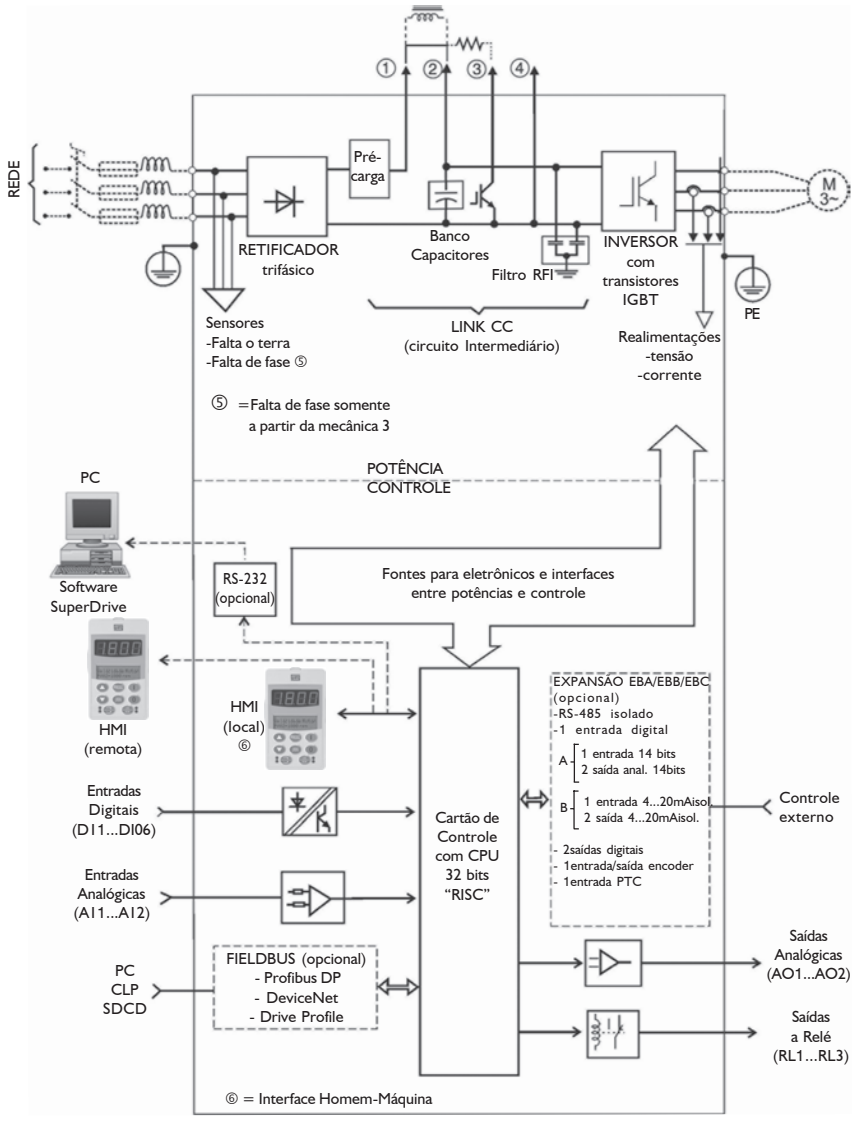


Figura 9.10 - Tipos de montagem

BLOCODIAGRAMA



①e② = Conexão indutor (opcional) (somente a partir da mecânica 2)
②e④ = Conexão LINK CC
②e③ = Conexão para resistor de frenagem (somente até mecânica 7, sendo opção para mecânica de 4 a 7)

Figura 9.11 - Blocodiagrama do CFW-09

INTERFACE HOMEM X MÁQUINA

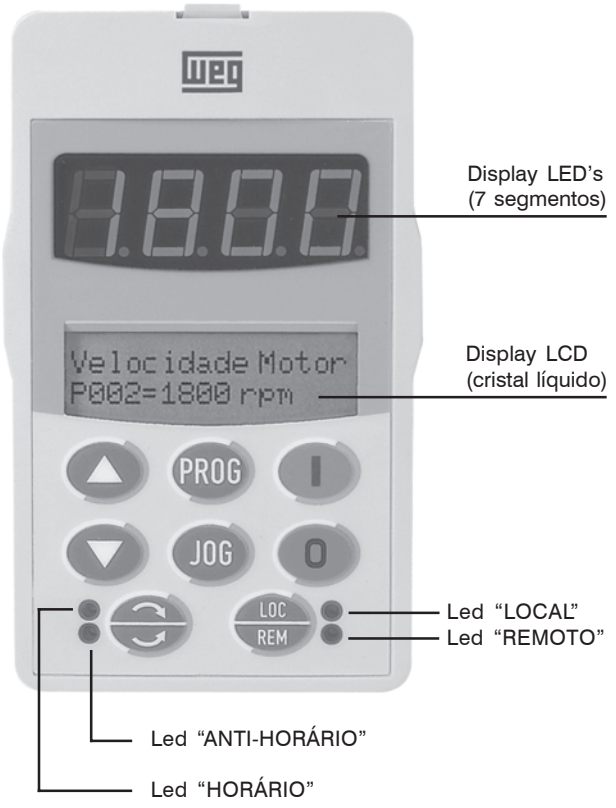


Figura 9.12 - HMI

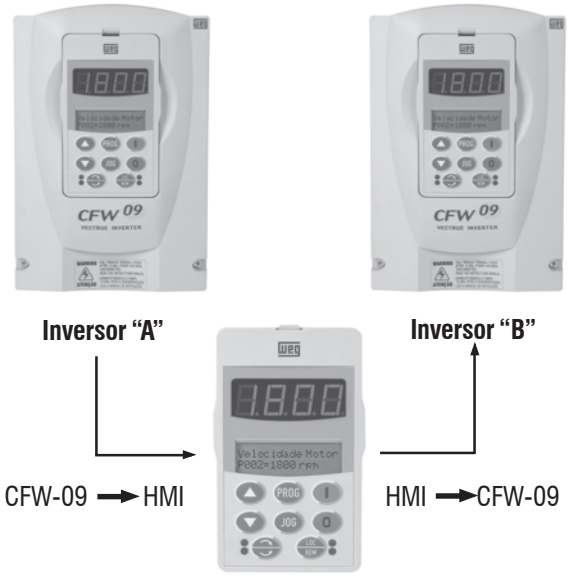


Figura 9.13 - Função Copy

Interface Inteligente

Interface de operação inteligente com duplo display, LED's (7 segmentos) e LCD (2 linhas de 16 caracteres), que permite ótima visualização a distância, além de incorporar uma descrição detalhada de todos os parâmetros e mensagens via display LCD alfanumérico.

Idioma Selecionável

A interface de operação inteligente permite ainda que o usuário do produto escolha, para o seu melhor conforto, o idioma a ser usado para a programação, leitura e apresentação dos parâmetros e mensagens alfanuméricas através do display LCD (Cristal Líquido).

A elevada capacidade de hardware e software do produto disponibiliza ao usuário várias opções de idiomas, tais como: Português, Inglês e Espanhol, de forma a adequá-lo a quaisquer usuários em todo o mundo.

Start-up Orientado

Inversores de frequência são equipamentos destinados ao acionamento de motores de indução, cuja adaptação e desempenho estão diretamente relacionados às características do mesmo, assim como da rede elétrica de alimentação.

Os inversores da linha CFW-09 incorporam um recurso de programação especialmente desenvolvido com a finalidade de facilitar e agilizar a inicialização da posta em marcha (*Start-up*) do produto, através de um roteiro orientado e automático, o qual guia o usuário para a introdução sequencial das características mínimas necessárias a uma perfeita adaptação do inversor ao motor acionado.

Função *COPY*

A interface inteligente também incorpora a função "*Copy*", a qual permite copiar a parametrização de um inversor para outros, possibilitando rapidez, confiabilidade e repetibilidade de programação em aplicações de máquinas de fabricação seriada.

FUNÇÕES DO TECLADO

Habilita o inversor via rampa (partida). Após habilitado comuta as indicações do display.
rpm - Volts - Estado - Torque - Hz - Amps

Desabilita o inversor via rampa (parada). Reseta o inversor após a ocorrência de erros.

Incrementa velocidade ou número e valor de parâmetro.

Decrementa velocidade ou número e valor de parâmetro.

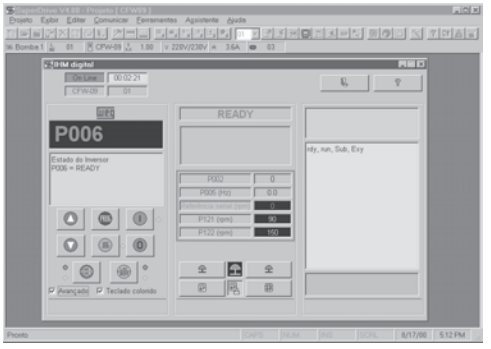
Seleciona (comuta) display entre o número do parâmetro e seu valor (posição / conteúdo), para programação.

Quando pressionada realiza a função JOG (impulso momentâneo de velocidade).

Inverte o sentido de rotação do motor comutando entre horário e anti-horário.

Seleciona o modo de operação do inversor, definindo a origem dos comandos / referência, podendo ser Local ou Remota.

Software de Programação SUPERDRIVE



Software de Programação de Drives

Software de programação via microcomputador PC, em ambiente Windows, para parametrização, comando e monitoração dos inversores CFW-09.

Permite editar parâmetros "*on-line*", diretamente no inversor ou editar arquivos de parâmetros "*off-line*", armazenados no microcomputador.

É possível armazenar arquivos de parâmetros de todos os inversores CFW-09 existentes na instalação.
O software também incorpora funções para transferir o conjunto de parâmetros do microcomputador para o inversor, como também do inversor para o microcomputador.

A comunicação entre o inversor e o microcomputador é feita via interface serial RS-232 (ponto a ponto) ou RS-485 para interligação em rede.

Figura 9.14 - SuperDrive

REDES DE COMUNICAÇÃO *"FieldBus"*

Interligação em Redes Rápidas

Os inversores CFW-09 podem ser interligados em redes de comunicação rápidas *"FieldBus"*, através dos protocolos padronizados mais difundidos mundialmente, podendo ser:

FIELDBUS →
- Profibus DP (opcional)
- DeviceNet (opcional)
- DeviceNet Drive Profile (opcional)
- Modbus RTU (software incorporado)

Destinados principalmente a integrar grandes plantas de automação industrial, as redes de comunicação rápidas conferem vantagens na supervisão, monitoração e controle, *"on-line"* e total, sobre os inversores, proporcionando elevada performance de atuação e grande flexibilidade operacional, características estas exigidas em aplicações de sistemas complexos e/ou integrados.

Para a interligação em redes de comunicação do tipo *"FieldBus" Profibus DP ou DeviceNet*, os inversores CFW-09 permitem incorporar internamente um cartão de rede, de acordo com o protocolo desejado. Para interligação em redes de comunicação tipo "*FieldBus*" Modbus RTU deverá ser utilizado conexão via interface RS-232 (opcional) ou RS-485 (disponível nos cartões EBA ou EBB).

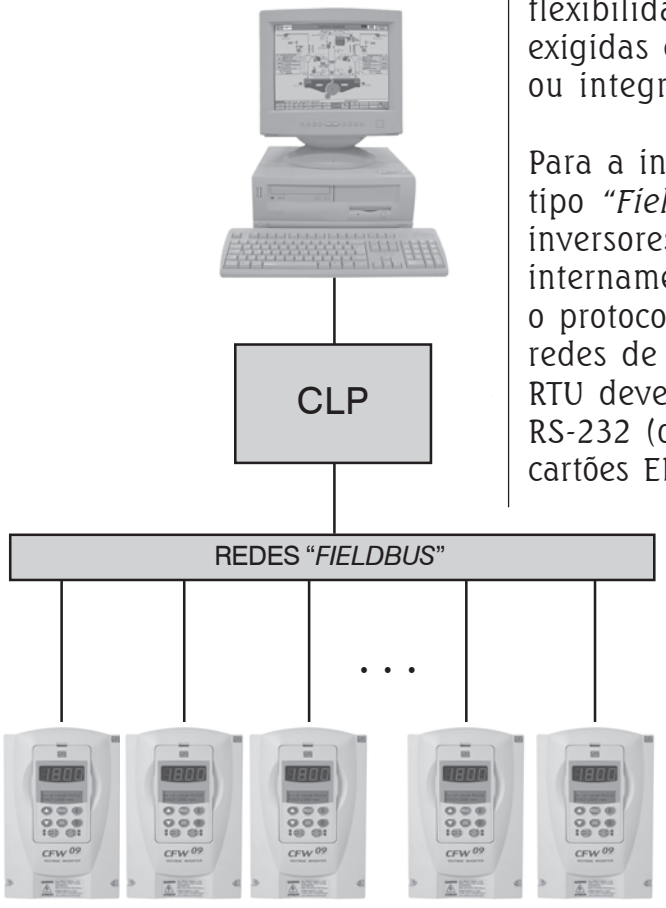


Figura 9.15 - Rede Fieldbus

CONFIGURAÇÕES COM BARRAMENTOS CC (LINK DC)

Os inversores CFW-09 possuem acesso ao barramento CC (Link DC) interno permitindo ser configurado para atender aplicações envolvendo a utilização de um barramento CC único, assim como para sistemas regenerativos.

Barramento CC Único (Link DC)

Utilizado para configurações em sistemas de máquinas multimotores onde as pontes retificadoras de cada inversor são substituídas por uma única unidade retificadora geral de entrada, através da interligação dos inversores por intermédio de um barramento CC único, proporcionando uma solução mais econômica do sistema.Esta solução proporciona ainda uma otimização do consumo energético do sistema em função da transferência de energia entre as unidades inversoras.

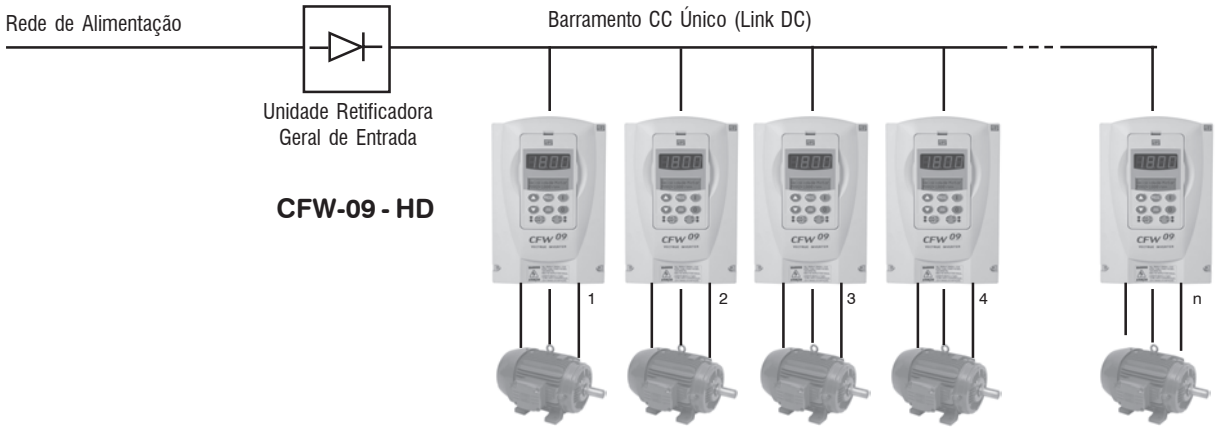


Figura 9.16 - CFW-09 HD

Inversor Regenerativo

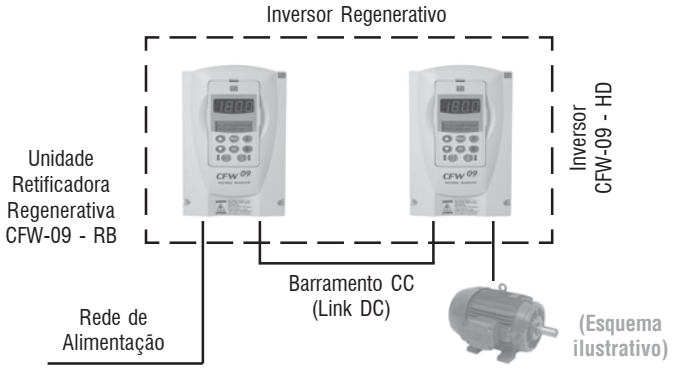


Figura 9.17 - CFW-09 RB

Utilizado para configurações de sistemas regenerativos através da interligação de uma unidade retificadora regenerativa (CFW-09-RB) ao barramento CC do inversor.

Esta solução permite frenagens regenerativas, com total devolução da energia à rede durante as frenagens, proporcionando um fator de potência unitário.

Este inversor regenerativo destina-se às aplicações de regime cíclico e/ou de paradas extremamente rápidas e de elevada dinâmica, tais como:

Rebobinadeiras de Papel, Centrífugas de Açúcar, Pórticos e Guindastes, etc.
Além da vantagem acima esta configuração elimina as correntes harmônicas na entrada do inversor, sendo útil nas aplicações onde não admite-se distorções harmônicas de corrente na rede de alimentação.

ACESSÓRIOS E PERIFÉRICOS

Interface de operação com duplo display, LED's e LCD, com recursos completos via códigos e mensagens com textos alfanuméricos e função Copy, para instalação local (tampa do inversor)ou remota em porta de painel. Distância máxima 5 m (sem moldura) e 10m (com moldura KMR)

INTERFACE HOMEM-MÁQUINA COMPLETA (padrão)

HMI - CFW09 - LCD

Interface de operação simplificada, com display de LED's, opcional para soluções de custo reduzido, para instalação local (tampa do inversor) ou remota em porta de painel. Distância máxima 5 m (sem moldura) e 10m (com moldura KMR)

INTERFACE HOMEM-MÁQUINA SIMPLIFICADA (opcional)

HMI - CFW09 - LED

Módulos de **tampa cega**, local (TCL) para tampa do inversor e remota (TCR) para moldura da Interface Homem-Máquina (HMI) remota, destinados ao fechamento completo do produto quando usado sem a HMI.

LOCAL REMOTA

TAMPAS CEGAS

TCL - CFW09

TCR - CFW09

Kit interface serial, para conexão do inversor CFW09 a um microcomputador PC, para uso do software SUPERDRIVE de programação e monitoração do inversor, ou a outros equipamentos, via comunicação serial RS-232.

KIT INTERFACE COMUNICAÇÃO SERIAL RS-232

KCS - CFW09

Moldura para instalação / fixação da Interface Homem-Máquina, remota ao inversor, para transferência de operação do inversor para a porta do painel ou para um console da máquina. Distância máxima 10 m.

KIT MOLDURA PARA INTERFACE REMOTA

KMR - CFW09

Interface Homem-Máquina remota,com grau de proteção **NEMA** 4/IP 56, para operação remota em porta de painel ou console de máquina, destinada a ambientes com incidência de água ou outros agentes agressivos (pó, fibras, cimento, etc). Distância máxima 10 m.

INTERFACE HOMEM-MÁQUINA REMOTA NEMA 4 - LCD

HMI - CFW09 - LCD - N4

Cabos com comprimentos (X) de 1; 2; 3; 5; 7,5 e 10 m. Cabos especiais com comprimentos superiores sob consulta.

CABOS INTERLIGAÇÃO PARA INTERFACE REMOTA

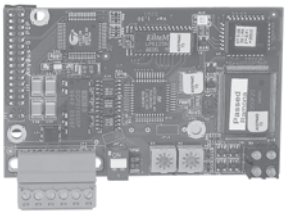
CAB - HMI09 - X

ACESSÓRIOS E PERIFÉRICOS

Profibus DP ⇒ KFB - PD

Device NET ⇒ KFB - DN

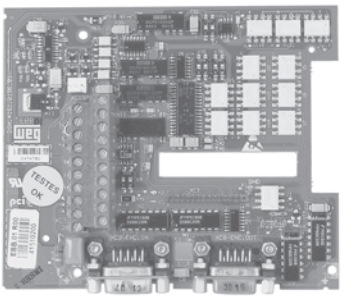
DeviceNet Drive Profile ⇒ KFB - DD



KITS PARA REDES DE COMUNICAÇÃO "FIELDBUS"

CARTÕES DE EXPANSÃO DE FUNÇÕES

Configuração / Funções	EBA. ...			EBB. ...					EBC		
	01	02	03	01	02	03	04	05	01	02	03
Entrada de encoder	•			•	•		•		•	•	•
Saída de encoder	•			•			•				
Serial RS-485	•	•		•			•				
Entrada analógica de 14 bits	•		•								
Saídas analógicas de 14 bits	•		•								
Entrada analógica isolada				•		•	•				
Saídas analógicas isoladas				•		•	•	•			
Entradas e saídas digitais + termistor (PTC)	•	•	•	•	•	•	•				



EBA.0X - CFW09

EBB.0X - CFW09

EBC1.0X - CFW09

Obs.:
EBC.01 - Sem fonte para alimentação do encoder
EBC.02 - Com fonte de 5Vcc para alimentação do encoder
EBC.03 - Com fonte de 12Vcc para alimentação do encoder

9 LINHA DE INVERSORES DE FREQÜÊNCIA WEG

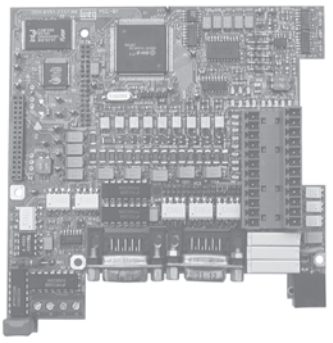
Os cartões PLC1 e PLC2 permitem com que o inversor de frequência CFW-09 assuma funções de CLP, referência de velocidade e módulo de posicionamento.

Características Técnicas:

- Posicionamento com perfil trapezoidal e "S" (absoluto e relativo)
- Busca de zero máquina (*homming*)
- Programação em linguagem *Ladder* através do Software WLP, Temporizadores, Contadores, Bobinas e Contatos
- RS - 232 com Protocolo Modbus RTU
- Disponibilidade de 100 parâmetros configuráveis pelo usuário via Software ou HMI
- Interface CAN com os protocolos CANopen e Device Net
- Função Mestre/Escravo (ElectronicGear Box)

CONTROLADOR PROGRAMÁVEL INCORPORADO

CARTÕES PLC1 e PLC2



Especificações Técnicas				
Entradas/Saídas	PLC 1		PLC 2	
	Quantidade	Descrição	Quantidade	Descrição
Entradas digitais	9	Entrada 24Vcc bipolar	9	Entradas 24Vcc bipolar
Saídas a relé	3	250Vca/3 A ou 250Vcc/3 A	3	250Vca/3 A ou 250Vcc/3 A
Saídas transistorizadas	3	24Vcc/500 mA	3	24Vcc/500 mA
Entradas de encoder	1	Encoder de 15Vcc	2	Encoder 5 a 24 Vcc
Saídas analógicas	-	-	2	2 saídas 12 bits em tensão -10V a +10V ou em corrente (0 a 20 mA)
Entradas analógicas	-	-	1	Entrada analógica de 14 bits -10V a +10V ou -20mA a +20mA
Entrada isolada para termistor do motor	-	-	1	Entrada isolada para PTC do motor

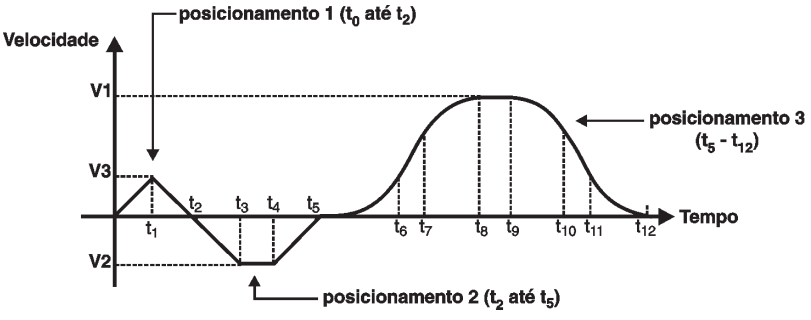


Figura 9.18 - Exemplo de trajetória com utilização da placa PLC1

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CFW-09

ALIMENTAÇÃO	Tensão	Trifásica	220 - 230 V: 220 / 230 V (+10%, -15%)
			380 - 480 V: 380 / 400 / 415 / 440 / 460 / 480 V (+10%, -15%)
			500 - 600 V; 500 / 525 / 575 / 600 V (+10%, -15%)
			500 - 690 V; 500 / 525 / 575 / 600 / 690 V (+10%, -15%)
	Frequência	50 / 60 Hz +/- 2 Hz (48 a 62 Hz)	
	Desbalanceamento entre fases	Menor que 3 %	
	Cos j (Fator de deslocamento)	Maior que 0,98	
GRAU DE PROTEÇÃO	Standard	NEMA 1 / IP 20 (modelos mecânicas 1 a 8), IP 20 (modelos mecânicas 9 a 10) e	
		NEMA 4x / IP 56 (modelos até 10 CV)	
CONTROLE	Tipo de alimentação	Fonte Chaveada	
	Microcontrolador	Tipo RISC 32 bits	
	Método de controle	PWM Senoidal SVM (Space Vector Modulation)	
		Reguladores de Corrente, Fluxo e Velocidade implementados em software (Full Digital)	
	Tipos de controle	Escalar (Tensão Imposta – V / F)	
		Vetorial Sensorless (sem encoder)	
		Vetorial com Encoder	
	Chaveamento	Transistores IGBT – Frequências Selecionáveis : 1,25 / 2,5 / 5,0 / 10 kHz	
	Variação de frequência	0 a 204 Hz (para rede em 60 Hz)	
		0 a 170 Hz (para rede em 50 Hz)	
		Acima de 204 Hz (sob consulta)	
	Sobrecarga admissível	150% durante 60 seg. a cada 10 min. (1,5 x I nom. – CT)	
		180 % durante 1 seg. a cada 10 min. (1,8 x I nom. – CT)	
	Rendimento	Maior que 97%	
PERFORMANCE	Controle de velocidade (Modo Escalar)	V / F	Regulação : 1 % da velocidade nominal c/ compensação de escorregamento
			Resolução : 1 rpm (referência via teclado)
			Faixa de regulação de velocidade = 1 : 20
	Controle de velocidade (Modo Vetorial)	Sensorless	Regulação : 0,5 % da velocidade nominal
			Resolução : 1 rpm (referência via teclado)
			Faixa de regulação de velocidade = 1 : 100
		Com Encoder ①	Faixa de regulação de velocidade = Até 0 rpm
			Regulação :
			+/- 0,1 % da velocidade nominal p/ ref. Analógica 10 bits
			+/- 0,01 % da velocidade nominal p/ ref. Digital (Ex.: Teclado, FieldBus)
			+/- 0,01 % da velocidade nominal p/ ref. Analógica 14 bits
	Controle de Torque (Modo Vetorial)	Torque	Regulação : +/- 10 % do torque nominal
			Faixa de regulação de torque : 0 a 150 % do torque nominal
ENTRADAS	Analógicas	2 Entradas diferenciais programáveis (10 bits): 0a 10 V, 0a 20 mA ou 4a 20 mA	
		1 Entrada programável bipolar (14 bits): -10 ... + 10 V, 0 ... 20 mA ou 4... 20 mA①	
		1 Entrada programável isolada (10 bits): 0 a 10 V, 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA ①	
	Digitais	6 Entradas programáveis isoladas : 24 Vcc	
		1 Entrada programável isolada : 24 Vcc ①	
		1 Entrada programável isolada : 24 Vcc (para Termistor-PTC do motor) •	
	Encoder incremental	1 Entrada diferencial isolada, com fonte interna isolada 12 Vcc •	
SAÍDAS	Analógicas	2 Saídas programáveis (11 bits) : 0 a10 V	
		2 Saídas programáveis bipolares (14 bits) : - 10 ... + 10 V ①	
		2 Saídas programáveis isoladas (11 bits) : 0 a 20 mA ou 4 ... 20 mA ①	
	Relé	2 Saídas programáveis, contatos NA/NF (NO/NC) : 240 Vca, 1 A	
		1 Saída programável , contato NA (NO) : 240 Vca, 1 A	
	Transistor	2 Saídas programáveis isoladas OC : 24 Vcc, 50 mA ①	
	Encoder	1 Saída diferencial isolada de sinal de encoder: alimentação externa 5 a 15 Vcc ①	
COMUNICAÇÃO	Interface serial	RS-232 via kit serial KCS – CFW09 (ponto a ponto) ①	
		RS-485 , isolada , via cartões EBA ou EBB (multiponto até 30 inversores) ①	
		Protocolo Johnson Controls-N2 (opcional)	
	Redes " FieldBus "	Modbus RTU (software incorporado) via interface serial	
		Profibus DP, DeviceNet ou DeviceNet Drive Profile ③ via kits adicionais KFB ①	
SEGURANÇA	Proteções	Sobretensão no circuito intermediário	Curto-circuito na saída
		Subtensão no circuito intermediário	Curto-circuito fase-terra na saída
		Sobretemperaturas no inversor e no motor	Erro externo
		Sobrecorrente na saída	Erro de autodiagnose e de programação
		Sobrecarga no motor (i x t)	Erro de comunicação serial
		Sobrecarga no resistor de frenagem	Ligação Invertida Motor/Encoder
		Erro na CPU (Watchdog) / EPROM	Falta de fase na alimentação (modelos > mecânica 3)
		Falha de encoder incremental	Falha de conexão da interface HMI – CFW09
CONDIÇÕES AMBIENTE	Temperatura	0 a 40 °C (até 50 °C com redução de 2% / °C na corrente de saída)	
	Umidade	5 a 90% sem condensação	
	Altitude	0 a 1000 m (até 4000 m com redução de 10% / 1000 m na corrente de saída)	
ACABAMENTO	Cor	Tampa plástica – Cinza claro PANTONE 413 C (Mecânicas 1a 2)	
		Tampa e Laterais metálica – Cinza claro RAL 7032 (Mecânicas 3 a 10)	
		Base – Cinza escuro RAL 7022 (Mecânicas 3 a 10)	

①Opcional ②Disponível em breve ③Software Especial

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CFW-09

CONFORMIDADES/ NORMAS	Compatibilidade	EMC diretiva 89 / 336 / EEC – Ambiente Industrial	
		Norma EN 61800-3 (EMC - Emissão e Imunidade)	
	Baixa Tensão	LVD 73/23/EEC - Diretiva de Baixa Tensão / UL 508C	
	Norma IEC 146	Inversores a semicondutores	
	Norma UL 508 C	Equipamentos para conversão de energia	
	Norma EN 50178	Equipamentos eletrônicos para uso em instalações de potência	
	Norma EN 61010	Requisitos de segurança p/ equiptos elétricos p/ uso em medição, controle e laboratórios	
CERTIFICAÇÕES	UL (USA) e cUL (CANADA)	Underwriters Laboratories Inc. / USA	
	CE (EUROPA)	Phoenix Test-Lab / Alemanha	
	IRAM (ARGENTINA)	Instituto Argentino de Normalización	
	C-Tick (AUSTRÁLIA)	Australian Communications Authority	
INTERFACE HOMEM-MÁQUINA (HMI - CFW09)	Comando	Liga / Desliga , Parametrização (Programação de funções gerais)	
	Incrementa / Decrementa Velocidade	JOG, Inversão de sentido de rotação e Seleção Local / Remoto	
	Supervisão (Leitura)	Referência de velocidade (rpm)	Corrente de saída no motor (A)
		Velocidade no motor (rpm)	Tensão de saída no motor (V)
		Valor proporcional à velocidade (Ex.: m/min)	Estado do inversor
		Frequência de saída no motor (Hz)	Estado das entradas digitais
		Tensão no circuito intermediário (V)	Estado das saídas digitais (transistor)
		Torque no motor (%)	Estado das saídas a relé
		Potência de saída (kW)	Valor das entradas analógicas
		Horas de produto energizado (h)	4 últimos erros armazenados em memória
		Horas de funcionamento / trabalho (h)	Mensagens de Erros / Defeitos
RECURSOS / FUNÇÕES DISPONÍVEIS	Standard (Padrão)	Interface homem-máquina incorporada com duplo display LCD + LED (HMI-CFW09-LCD)	
		Senha de habilitação para programação	
		Seleção do idioma da HMI (LCD) – Português, Inglês e Espanhol	
		Seleção do tipo de controle (via parâmetro): Escalar U/F, Sensorless ou Com Encoder	
		Auto-diagnóstico de defeitos e Auto-reset de falhas	
		Reset para programação padrão de fábrica ou para padrão do usuário	
		Auto-ajuste do inversor às condições da carga (Self tuning)	
		Indicação de grandeza específica (programável) - (Ex.: m/min; rpm; l/h; %, etc)	
		Compensação de escorregamento - Modo U / F	
		I x R (Boost de Torque) manual ou automático - Modo U / F	
		Curva U / F ajustável (programável) - Modo U / F	
		Limites de velocidade mínima e máxima	
		Limite da corrente máxima	
		Ajuste da corrente de sobrecarga	
		Ajuste digital do ganho e do Offset das entradas analógicas	
		Ajuste digital do ganho das saídas analógicas	
		Função JOG (impulso momentâneo de velocidade)	
		Função JOG + e JOG - (incremento / decremento momentâneo de velocidade)	
		Função "COPY" (Inversor ® HMI ou HMI ® Inversor)	
		Funções específicas programadas em saídas digitais (relé) : N* > Nx ; N > Nx ; N < Nx ; N = 0 ; N = N* ; I s > I x ; I s < I x ; T > Tx e T < Tx Onde: N = Velocidade ; N* = Referência ; I s = Corrente saída e T = Torque motor	
		Rampas linear e tipo ''S'' e dupla rampa	
		Rampas de aceleração e desaceleração independentes	
		Frenagem CC (corrente contínua)	
		Frenagem Ótima (Optimal Braking)® - Modo Vetorial	
		Frenagem Reostática incorporada – modelos até 45 A / 220-230 V e até 30 A / 380-480 V	
		Função Multi-Speed (até 8 velocidades pré-programadas)	
		Função Ciclo Automático do Processo ②	
		Recursos especiais : Horímetro e Wattímetro (kW)	
		Regulador PID superposto (controle automático de nível, vazão, pressão, peso, etc)	
		Seleção do sentido de rotação (horário / anti-horário)	
		Seleção para operação Local / Remoto	
		Partida com o motor girando (Flying Start)	
		Rejeição de velocidades críticas ou ressonantes (Skip Speed)	
		Operação durante falhas momentâneas da rede (Ride-Through)	
		Modbus RTU incorporado (necessita interface RS-232 ou RS-485). Outras opções vide opcionais abaixo	

①Opcional ②Disponível em breve ③Software Especial

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CFW-09

RECURSOS / FUNÇÕES DISPONÍVEIS	Opcionais	Sem interface Homem-Máquina Local		ADICIONAL	Modelos "SI"
		Interface Homem-Máquina Local Simplificada (Display LED's)			HMI-CFW09-LED
		Interface Homem-Máquina Remota NEMA 4 (Display de LED's)			HMI-CFW09-LED-N4
		Interface Homem-Máquina Remota NEMA 4 (Display LCD)			HMI-CFW09-LCD-N4
		Cabo para Interligação da HMI Remota (1; 2; 3; 5; 7,5 e 10 m)			CAB – HMI 09 - X
		Tampa cega para HMI local			TCL – CFW09
		Tampa cega para HMI remota			TCR – CFW09
		Kit moldura para interface remota			KMR – CFW09
		Cartões de Expansão de Funções			EBA . 0X – CFW09 EBB . 0X – CFW09 EBC . 0X - CFW09
		Kits para Redes de Comunicação *FieldBus* (Instalação Interna ao Inversor)	Profibus DP		KFB – PD
			DeviceNet		KFB – DN
			DeviceNet Drive Profile		KFB – DD
		Kit SUPERDRIVE com Interface Comunicação Serial RS-232 (Inversor ↔ Micro PC)	Software SUPERDRIVE		KSD – CFW09
			Conectores e Cabos		
			KCS - CFW09		
		Módulo Interface Serial RS-232			KCS – CFW09
		Frenagem Reostática incorporada (transistor interno) Modelos: 54 a 142 A / 220-230 V e 38 a 142 A / 380-480 V			Modelos "DB"
		Kit Frenagem Reostática (Unidade Externa)	Modelos 180...600A/220-230V e 380-480V		DBW - 01
			Modelos 107...472A / 500-690V		DBW - 02
		Kit Fixação via Flange (p/ modelos mecânicas 3 a 8)			KMF - CFW09
		Kit Montagem Extraível (p/ modelos mecânicas 9 a 10)			KME - CFW09
		Kit Indutor para Link DC (p/ modelos mecânicas 2 a 8)			KIL - CFW09
		Filtro EMC com alta capacidade de atenuação			RF

①Opcional ②Disponível em breve ③Software Especial

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES - CFW-09

TENSÃO DA REDE	INVERSOR CFW-09					MOTOR MÁXIMO APLICÁVEL ①				MECÂNICA
	Modelo Básico CFW-09...	Transistor para Frenagem Reostática	Corrente Nominal (A) CT*	Corrente Nominal (A) VT*	Tensão (V)	Torque Constante CV	Torque Constante kW	Torque Variável CV	Torque Variável kW	
220 / 230V	0006 T 2223 P S	Padrão Incorporado no Produto	6,0 ②		220	1,5	1,1	1,5	1,1	1
	0007 T 2223 P S		7,0 ②			2,0	1,5	2,0	1,5	
	0010 T 2223 P S		10 ②			3,0	2,2	3,0	2,2	
	0013 T 2223 P S		13			4,0	3,0	4,0	3,0	
	0016 T 2223 P S		16			6,0	4,4	6,0	4,4	2
	0024 T 2223 P S		24			7,5	5,5	7,5	5,5	
	0028 T 2223 P S		28			10	7,5	10	7,5	
	0033T2223POHW		33			12,5	9	12,5	9	
	0038 T 2223 P S		38			12,5	9	12,5	9	3
	0045 T 2223 P S		45			15	11	15	11	
	0054 T 2223 P S	Opcional Interno	54	68		20	15	25	18,5	4
	0070 T 2223 P S		70	86		25	18,5	30	22	5
	0086 T 2223 P S		86	105		30	22	40	30	
	0105 T 2223 P S		105	130		40	30	50	37	6
	0130 T 2223 P S		130	150		50	37	60	45	
	0142 T 2223 P S		142	174		60	45	75	55	7
	0180 T 2223 P S	Opcional com Unidade Externa	180			75	55	75	55	8
	0240 T 2223 P S		240			100	75	100	75	
	0361 T 2223 P S		361			150	110	150	110	9
380 / 400 / 415 / 440 / 460 / 480V	0003 T 3848 P S	Padrão Incorporado no Produto	3,6		380	1,5	1,1	1,5	1,1	1
	0004 T 3848 P S		4,0			2,0	1,5	2,0	1,5	
	0005 T 3848 P S		5,5			3,0	2,2	3,0	2,2	
	0009 T 3848 P S		9,0			5,0	3,7	5,0	3,7	
	0013 T 3848 P S		13			7,5	5,5	7,5	5,5	2
	0016 T 3848 P S		16			10	7,5	10	7,5	
	0024 T 3848 P S		24			15	11	15	11	
	0030 T 3848 P S		30	36		20	15	20	15	3
	0038 T 3848 P S	Opcional Interno	38	45		25	18,5	30	22	4
	0045 T 3848 P S		45	54		30	22	30	22	
	0060 T 3848 P S		60	70		40	30	50	37	5
	0070 T 3848 P S		70	86		50	37	60	45	
	0086 T 3848 P S		86	105		60	45	75	55	6
	0105 T 3848 P S		105	130		75	55	75	55	
	0142 T 3848 P S		142	174		100	75	125	92	7
	0180 T 3848 P S	Opcional com Unidade Externa	180			125	90	125	90	8
	0211 T 3848 P S		211			150	110	150	110	
	0240 T 3848 P S		240			150	110	150	110	
	0312 T 3848 P S		312			200	150	200	150	9
	0361 T 3848 P S		361			250	185	250	185	10
	0450 T 3848 P S		450			300	220	300	220	
	0515 T 3848 P S		515			350	260	350	260	
	0600 T 3848 P S		600			450	330	450	330	-
	0686 T 3848 P S		686			500	370	500	370	
	0855 T 3848 P S		855			600	450	600	450	
	1140 T 3848 P S		1140			800	600	800	600	
	1283 T 3848 P S		1283			900	660	900	660	
	1710 T 3848 P S		1710			1300	950	1300	950	
	0003 T 3848 P S	Padrão Incorporado no Produto	3,6		440	1,5	1,1	1,5	1,1	1
	0004 T 3848 P S		4,0			2,0	1,5	2,0	1,5	
	0005 T 3848 P S		5,5			3,0	2,2	3,0	2,2	
	0009 T 3848 P S		9,0			6,0	4,4	6,0	4,4	
	0013 T 3848 P S		13			10	7,5	10	7,5	2
	0016 T 3848 P S		16			12,5	9,2	12,5	9,2	
	0024 T 3848 P S		24			15	11	15	11	
	0030 T 3848 P S		30	36		20	15	25	18,5	3
	0038 T 3848 P S	Opcional Interno	38	45		25	18,5	30	22	4
	0045 T 3848 P S		45	54		30	22	40	30	
	0060 T 3848 P S		60	70		40	30	50	37	5
	0070 T 3848 P S		70	86		50	37	60	45	
	0086 T 3848 P S		86	105		60	45	75	55	6
	0105 T 3848 P S		105	130		75	55	100	75	
	0142 T 3848 P S		142	174		100	75	125	92	7

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES - CFW-09

TENSÃO DA REDE	INVERSOR CFW-09					MOTOR MÁXIMO APLICÁVEL ①				MECÂNICA
	Modelo Básico CFW-09...	Transistor para Frenagem Reostática	Corrente Nominal (A)		Tensão (V)	Torque Constante		Torque Variável		
			CT*	VT*		CV	kW	CV	kW	
380 / 400 / 415 / 440 / 460 / 480V	0180 T 3848 P S	Opcional com Unidade Externa	180		440	150	110	150	110	8
	0211 T 3848 P S		211			175	131	175	131	
	0240 T 3848 P S		240			200	150	200	150	
	0312 T 3848 P S		312			250	187	250	187	9
	0361 T 3848 P S		361			300	220	300	220	
	0450 T 3848 P S		450			350	260	350	260	10
	0515 T 3848 P S		515			450	336	450	336	
	0600 T 3848 P S		600			500	370	500	370	
	0686 T 3848 P S		686			600	450	600	450	-
	0855 T 3848 P S		855			700	500	700	500	
	1140 T 3848 P S		1140			900	660	900	660	
	1283 T 3848 P S		1283			1000	730	1000	730	
	1710 T 3848 P S		1710			1500	1100	1500	1100	
500 / 525 / 575 / 600 V	0002 T 5060 P S	Padrão Incorporado no Produto	2,9	4,2	575	2	1,5	3	2,2	2
	0004 T 5060 P S		4,2	7		3	2,2	5	3,7	
	0007 T 5060 P S		7	10		5	3,7	7,5	5,5	
	0010 T 5060 P S		10	12		7,5	5,5	10	7,5	
	0012 T 5060 P S		12	14		10	7,5	12,5	9,2	
	0014 T 5060 P S		14	14		15	11	15	11	
	0022 T 5060 P S	Opcional Interno	22	27		20	15	25	18,5	4
	0027 T 5060 P S		27	32		25	18,5	30	22	
	0032 T 5060 P S		32	32		30	22	30	22	
	0044 T 5060 P S		44	53		40	30	50	37	7
	0053 T 5060 P S		53	63		50	37	60	45	
	0063 T 5060 P S		63	79		60	45	75	55	
	0079 T 5060 P S		79	99		75	55	100	75	
500 / 525 / 575 / 600 / 660 / 690V	0107 T 5069 P S		107(100)	147(127)		100	75	150	110	8E
	0147 T 5069 P S		147(127)	196(179)		150	110	200	150	
	0211 T 5069 P S		211(179)	211(225)		200	150	200	150	
	0247 T 5069 P S		247(225)	315(259)		250	185	300	220	10E
	0315 T 5069 P S		315(259)	343(305)		300	220	350	250	
	0343 T 5069 P S		343(305)	318(340)		350	250	400	300	
	0418 T 5069 P S		418(340)	472(428)		400	300	500	370	
	0472 T 5069 P S		472(428)	555(428)		500	370	600	450	
660 / 690V	0100 T 6669 P S	Opcional com Unidade Externa	100	127	690	90	125	110	150	8E
	0127 T 6669 P S		127	179		110	150	160	220	
	0179 T 6669 P S		179			160	220	160	220	
	0225 T 6669 P S		225	259		200	275	250	350	10E
	0259 T 6669 P S		259	305		250	350	280	370	
	0305 T 6669 P S		305	340		280	370	315	430	
	0340 T 6669 P S		340	428		315	430	400	500	
	0428 T 6669 P S		428			400	500	400	500	

*CT = Torque Constante (T carga = CTE); VT = Torque Variável (Ex.: Torque Quadrático => T carga ~ n^2)

Notas:
1 - As potências máximas dos motores, na tabela acima, foram calculadas com base nos modelos WEG de 2 e 4 pólos. Para motores de outras polaridades (Ex.: 6 e 8 pólos), outras tensões (Ex.: 230, 400, e 460 V) e/ou motores de outros fabricantes, especificar o inversor através da corrente nominal do motor.
2 - Os modelos de inversores CFW09 de 6, 7 e 10 A, na tensão 220-230 V, podem opcionalmente ser alimentados por rede monofásica, sem redução de corrente (potência) nominal de saída.
3 - Os modelos com correntes iguais ou superiores a 44A / 500-600 V e todos os modelos 500-690 V e 660-690 V não requerem impedância de linha mínima, porque possuem indutor no link CC interno no produto padrão.
4 - Os valores apresentados entre parênteses referem-se à corrente nominal de saída para alimentação em 660 e 690 V.

MECÂNICAS DO CFW-09

Figura 9. 19 - Mecânicas do CFW-09

CODIFICAÇÃO

CFW09	0016	T	3848	P	O	00	SI	DB	A1	DN	H1	S3	Z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

1 **Inversor de freqüência WEG família CFW-09**

2 **Corrente nominal de saída do inversor em torque constante (CT):**

220 - 230 V	380 - 480 V	500 - 600 V	500 - 690 V	660 - 690 V
0006 = 6,0 A	0003 = 3,6 A	0002 = 2,9 A	0107 = 107 A	0100 = 100 A
0007 = 7,0 A	0004 = 4,0 A	0004 = 4,2 A	0147 = 147 A	0127 = 127 A
0010 = 10 A	0005 = 5,5 A	0007 = 7,0 A	0211 = 211 A	0179 = 179 A
0013 = 13 A	0009 = 9,0 A	0010 = 10 A	0247 = 247 A	0225 = 225 A
0016 = 16 A	0013 = 13 A	0012 = 12 A	0315 = 315 A	0259 = 259 A
0024 = 24 A	0016 = 16 A	0014 = 14 A	0343 = 343 A	0305 = 305 A
0028 = 28 A	0024 = 24 A	0022 = 22 A	0418 = 418 A	0340 = 340 A
0033 =33 A	0030 = 30 A	0027 = 27 A	0472 = 472 A	0428 = 428 A
0038 =38 A	0038 = 38 A	0032 = 32 A		
0045 = 45 A	0045 = 45 A	0044 = 44 A		
0054 = 54 A	0060 = 60 A	0053 = 53 A		
0070 = 70 A	0070 = 70 A	0063 = 63 A		
0086 = 86 A	0086 = 86 A	0079 = 79A		
0105 = 105 A	0105 = 105 A			
0130 = 130 A	0142 = 142 A			
0142 = 142 A	0180 = 180 A			
0180 = 180 A	0211 = 211 A			
0240 = 240 A	0240 = 240 A			
0361 = 361 A	0312 = 312 A			
	0361 = 361 A			
	0450 = 450 A			
	0515 = 515 A			
	0600 = 600 A			
	0686 = 686 A			
	0855 = 855 A			
	1140 = 1140 A			
	1283 = 1286 A			
	1710 = 1710 A			

3 **Alimentação de entrada do inversor:**
T = Trifásica

4 **Tensão de alimentação:**
2223 = Faixa 220 ... 230 V
3848 = Faixa 380 ... 480 V
5060 = Faixa 500 ... 600 V
5069 = Faixa 500 ... 690 V
6669 = Faixa 660 ... 690 V

5 **Idioma do manual do produto:**
P = Português
E = Inglês
S = Espanhol

6 **Versão do produto:**
S = Standard
O = com Opcionais

7 **Grau de proteção:**
00 = Standard (vide tabela de características)
N4 = NEMA 4x IP56 (modelos até 10cv)

8 **Interface Homem - Máquina (HMI):**
00 = Standard (com HMI de LED's + LCD)
IL = Opcional com HMI somente de LED's
SI = Sem HMI

9 **Frenagem:**
00 = Standard (vide tabela de especificações)
DB = Opcional com frenagem reostática incorporada internamente
RB = Unidade retificadora regenerativa (modelos a partir de 105A na tensão 220V e a partir de 86A nas tensões 380-480V)

10 **Cartões de expansão de funções:**
00 = Standard (não há)
A1 = Opcional com EBA . 01-CFW09
A2 = Opcional com EBA . 02-CFW09
A3 = Opcional com EBA . 03-CFW09
B1 = Opcional com EBB . 01-CFW09
B2 = Opcional com EBB . 02-CFW09
B3 = Opcional com EBB . 03-CFW09
B4 = Opcional com EBB . 04-CWF09
B5 = Opcional com EBB . 05-CWF09
C1 = Opcional com EBC . 01-CWF09
C2 = Opcional com EBC . 02-CWF09
C3 = Opcional com EBC . 03-CWF09
P1 = Opcional com cartão PLC1.01
P2 = Opcional com cartão PLC2.00

11 **Cartões para redes de comunicação "FieldBus":**
00 = Standard (não há)
PD = Opcional KFB - PD (Rede Profibus DP)
DN = Opcional KFB - DN (Rede Device Net)
DD = Opcional KFB - DD (Rede Device Net Drive Profile/ Software Especial)

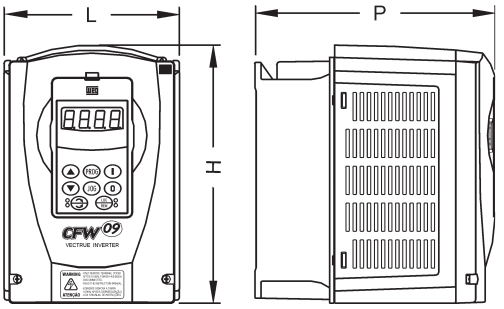
12 **Hardware especial:**
00 = Standard (não há)
H1 ... Hn = Opcional com versão de hardware especial H1 ... Hn
HD = Modelos a partir de 105A na tensão 220V e a partir de 86A nas tensões 380-480V, possuem alimentação pelo link DC
HC/HV = Os inversores CFW09 das mecânicas 2 até 8 dispõem de uma linha de indutores para o link CC já incorporados ao produto. Para solicitar o inversor com o indutor já montado, basta adicionar a codificação "HC" (para inversor operando em Torque Constante) ou "HV" (para inversor operando em Torque Variável).

13 **Software especial:**
00 = Standard (não há)
S1 ... Sn = Opcional com versão de software especial S1 ... Sn
SF = Protocolo Metasys N2
SC = Funções para guindastes
SN = Bobinador I com cálculo de força
SQ = Versão especial para Kit Device Net Drive Profile

14 **Fim de código:**
Z = Dígito indicador de final de codificação do produto

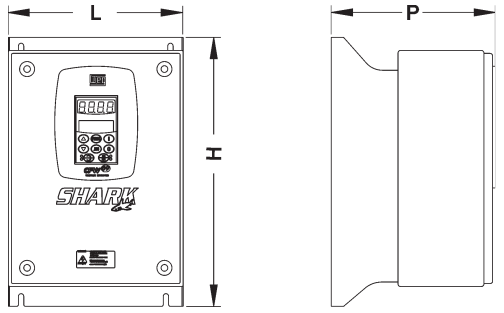
Exemplos:
CFW09 0013 T 2223 P S Z
CFW09 0105 T 3848 P O IL A1 PD Z
CFW09 0086 T 3848 P O SI DB B2 MR S3 Z

DIMENSÕES E PESO



NEMA 1 / IP 20

MECÂNICA	LARGURA " I " (mm)	ALTURA " H " (mm)	PROFUNDIDADE " P " (mm)	PESO (kg)
1	143	210	196	3,0
2	182	290		5,3
3	223	390	274	17
4	250	475		22
5	335	550		30
6		675	300	43
7		835		55
8	410	975	370	80
8E	410	1145	370	115
9	688	1020	492	190
10	700	1185		230
10E	700	1185	582	310



NEMA 4X / IP 56

MECÂNICA	LARGURA " I " (mm)	ALTURA " H " (mm)	PROFUNDIDADE " P " (mm)	PESO (kg)
1	234	360	221	10
2	280	410		15

SHARK

NEMA 4 INOX

Figura 9. 20 - NEMA Shark

Inversores de freqüência CFW09 com grau de proteção **NEMA 4x(IP56)**, projetados para ambientes altamente agressivos tais como:

- Indústria química
- Petroquímica
- Frigoríficos
- Demais aplicações onde necessitam de total proteção ao equipamento eletrônico.

TENSÃO DA REDE	INVERSOR CFW-09				MOTOR MÁXIMO APLICÁVEL①			MECÂNICA
	Modelo Básico CFW-09...	Transistor para Frenagem Reostática	Corrente Nominal (A)		Tensão (V)	Torque Constante (CT*) / Variável (VT*)		
			CT*	VT*		HP	kW	
220-230	0006 T 2223 P O N4 Z	PADRÃO incorporado no produto	6		220	1,5	1,1	1
	0007 T 2223 P O N4 Z		7			2	1,5	
	0010 T 2223 P O N4 Z		10			3	2,2	
	0016 T 2223 P O N4 Z		16			5	3,7	2
380-480	0003 T 3848 P O N4 Z	PADRÃO incorporado no produto	3,6		380	1,5	1,1	1
	0004 T 3848 P O N4 Z		4			2	1,5	
	0005 T 3848 P O N4 Z		5,5			3	2,2	
	0009 T 3848 P O N4 Z		9			5	3,7	2
	0013 T 3848 P O N4 Z		13			7,5	5,5	
	0016 T 3848 P O N4 Z		16			10	7,5	

*CT = Torque Constante (T carga = CTE); VT = Torque Variável (Ex.: Torque Quadrático => T carga ~ n^2)

FUNÇÕES ESPECIAIS

Multi-speed

O motor pode ser acionado em até 8 velocidades pré-programadas, via software, pelo usuário. Estas velocidades são comandadas através da combinação de 3 entradas digitais no inversor, as quais podem ser acionadas por quaisquer tipos de atuadores externos, tais como: fins-de-curso, fotocélulas, sensores de proximidade, relés e contatores auxiliares, chaves e botões seletores, etc.

DI	4	5	6
n_1	0	0	0
n_2	0	0	1
n_3	0	1	0
n_4	0	1	1
n_5	1	0	0
n_6	1	0	1
n_7	1	1	0
n_8	1	1	1

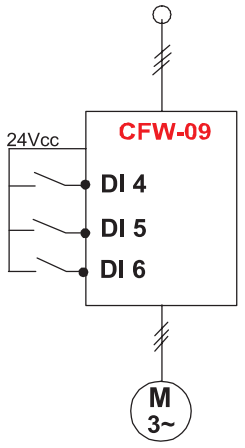


Figura 9.21 -

Regulador PID Superposto

Incorporado ao software do inversor este regulador destina-se as aplicações onde há necessidade do controle de uma variável do processo (Ex.: vazão, pressão, nível, peso, etc.), indiretamente pela variação da velocidade do motor. Para isto, o inversor deverá ter um setpoint (programado pelo usuário) e receber um sinal de realimentação do sensor de medição da variável do processo, formando desta forma uma malha fechada.

Este recurso elimina a utilização de um controlador PID externo para controlar o processo, proporcionando assim uma economia adicional nos custos do sistema.

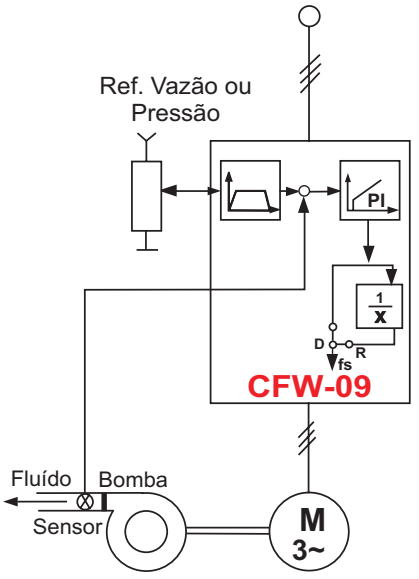


Figura 9.22 -

Rampa "S"

Este recurso permite ao usuário substituir as convencionais rampas de aceleração e desaceleração "lineares" por rampas tipo "S", as quais impõem ao motor e a carga maior suavidade nos instantes de partida/frenagem e de aproximação à velocidade ajustada, o que possibilita evitar os choques mecânicos no início e no final das rampas, indesejáveis e até impraticáveis em algumas máquinas/processos.

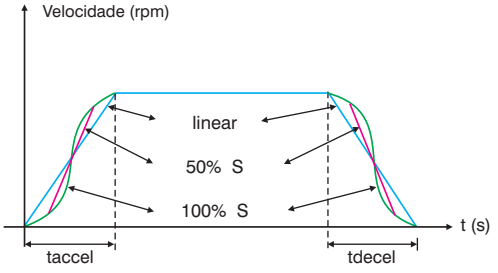
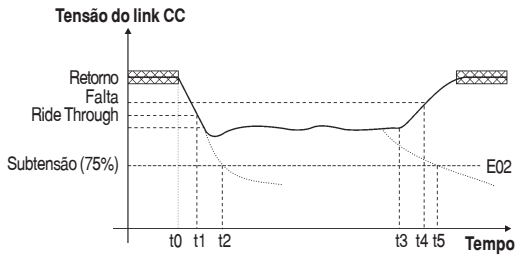


Figura 9.23 -

FUNÇÕES ESPECIAIS

Ride-Through

A finalidade da função Ride Through é fazer com que o inversor mantenha o motor girando durante a falta de rede, sem interrupção ou memorização de falha. A energia necessária para a manutenção do conjunto em funcionamento é obtida da energia cinética do motor (inércia) através da desacelaração do mesmo. No retorno da rede o motor é reacelerado para a velocidade defenida pela referência.



- t0 - Falta de rede;
- t1 - Detecção da falta de rede;
- t2 - Atuação da Substensão (E02 sem Ride-Through);
- t3 - Retorno da rede;
- t4 - Detecção do retorno da rede;
- t5 - Atuação da Subtenção (E02 com Ride-Through).

Figura 9.24 -

Curva U/F Ajustável

A alteração da curva U/F padrão tem como finalidade possibilitar o acionamento de motores especiais com tensões nominais em freqüências nominais (base) diferentes da freqüência da rede.
Nestes casos, esta função permite ao usuário deslocar a freqüência "base", aquela na qual o inversor impõe a tensão nominal ao motor, para uma nova freqüência acima ou abaixo da freqüência convencional (Ex.: 60 Hz)
Exemplo de aplicação:
Máquina de acabamento de madeira
Motor especial com U_{nom} = 220V à f_{nom} = 200Hz

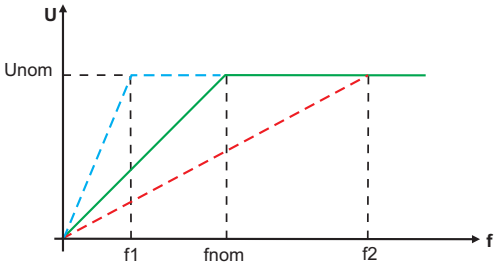


Figura 9.25 -

Rejeição de Velocidades Críticas

Esta função permite ao inversor a possibilidade de evitar a operação do motor em determinadas velocidades críticas que possam provocar ressonância no sistema mecânico motor/carga, causando vibrações e ruídos indesejáveis. Pode ser programado em software, pelo usuário, até 3 pontos de velocidades críticas à serem evitadas, assim como as "bandas" ideais em torno de cada velocidade ressonante de forma a não comprometer a performance do sistema mecânico.

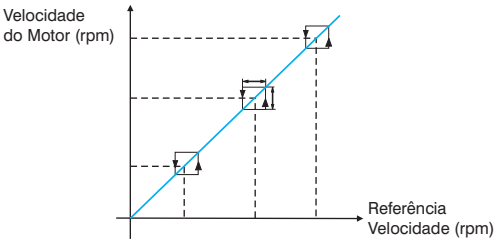


Figura 9.26 -

9.5 INVERSOR DE FREQÜÊNCIA MVW-01

MVW 01

Figura 9.27 - MVW-01

A **WEG** é o único fornecedor brasileiro de sistemas de variação de velocidade em média tensão que fabrica todas as partes integrantes: cubículo de entrada, transformador a seco ou a óleo, inversor de frequência e motor de média tensão. O inversor de frequência MVW-01 apresenta tecnologia estado da arte através de uma estrutura multiníveis com IGBTs de alta tensão (6,5 kV), reduzindo as correntes harmônicas no motor a níveis extremamente baixos. A configuração do retificador de entrada em 12 ou 18 pulsos permite alto fator de potência na rede de alimentação atendendo plenamente a norma IEEE 519.
Na parte de controle, o MVW-01 possue uma arquitetura com multiprocessamento utilizando processadores de 32 bits (barramento de 64 bits) com matemática em ponte-flutuante e alta rapidez, garantindo alto desempenho no controle do motor.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- Totalmente digital com processador de alta performance 32 bits (barramento de 64 bits);
- Interface Homem-Máquina (LCD/LED) destacável com duplo display de fácil manuseio;

- Tensões do motor: 3,3 ou 4,16 kV;
- Potências até 2250 cv;
- Montado em painel IP 21/NEMA 1;
- Refrigeração a ar;
- Retificador de entrada de 12 pulsos (18 pulso opcional): alto fator de potência (>0,95);
- Topologia de potência multinível (NPC 3/5 níveis);
- Fibra óptica entre potência e controle;
- Tensão imposta;
- Semicondutores de Potência de alta tensão (6,5 kV) reduzindo o número de componentes sem a necessidade de conexão em série, resultando em alta eficiência /confiabilidade;
- Capacitores de potência de filme plástico a seco de alta confiabilidade e longa vida útil;
- Fácil manutenção (braços de potência extraíveis).

MODELOS

Tensão Nominal (V)	Corrente Nominal Inversor (A)		Motor Aplicável*			
			Torque Constante (CT)		Torque Variável (VT)	
	CT	VT	cv	kW	cv	kW
3300	85	100	500	400	600	450
	100	112	600	450	700	500
	112	138	700	500	800	630
	138	150	800	630	900	710
	150	160	900	710	1000	800
	160	188	1000	800	1250	900
	186	244	1250	900	1500	1120
	235	265	1500	1120	1750	1250
	265	310	1750	1250	2000	1400
	310	365	2000	1400	2250	1600
4160	70	80	500	400	600	450
	80	94	600	450	700	500
	94	110	700	500	800	630
	110	120	800	630	900	710
	120	130	900	710	1000	800
	130	160	1000	800	1250	900
	162	170	1250	900	1350	1000
	170	188	1350	1000	1500	1120
	188	245	1500	1120	2000	1400
	250	286	2000	1400	2250	1600

* Potências orientativas, especificar o inversor através da corrente nominal do motor.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

ALIMENTAÇÃO DE POTÊNCIA	Tensões	3300 ou 4160V (+ 10%, -20% com redução da potência de saída)	
	Freqüência	50 ou 60 Hz (especificar) + -3%	
	Desbalanceamento entre Fases	<3%	
	Cos φ	>0,97	
ALIMENTAÇÃO AUXILIAR	Tensões	220, 380, 400, 415, 440, 460 ou 480 V	
	Freqüência	50 ou 60 Hz,) + -3%	
	Desbalanceamento entre Fases	<3%	
GRAU DE PROTEÇÃO	Standard	NEMA 1 / IP21	
DIMENSOES	Largura / Altura / Profundidade (mm)	2400 / 2300 / 980	
CONTROLE	Microprocessador	32 bits	
	Método de Controle	PWM senoidal SVM (Space Vector Modulation) e pulsos ótimos (OPP)	
		Digital	
	Tipos de Controle	Tensão Imposta – V/F	
	Chaveamento	Transistor IGBT de alta tensão (HV – IGBT)	
	Variação de freqüência	0 ... 100 Hz	
	Sobrecarga admissível	150 % durante 60 seg. a cada 10 min. (1.5 x I nom. – CT)	
		115 % durante 60 seg. a cada 10 min. (1,15 x I nom. – VT)	
	Rendimento	Maior que 97%	
PERFORMANCE	Controle de Velocidade (Modo Escalar)	V / F	Regulação 0,5 % da velocidade nominal c/ compensação de escorregamento
			Resolução: 1 rpm (referência via teclado)
			Faixa de regulação de velocidade: 1:20
ENTRADAS	Analógicas	2 Entradas diferenciais programáveis (10 bits): 0...10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA	
		1 Entrada programável isolada (10 bits): 0 ... 10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA	
		1 Entrada programável bipolar (14 bits): -10 ... + 10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA ①	
		1 Entrada programável isolada (10 bits): 0 ... 10 V, 0...20 mA ou 4...20 mA ①	
	Digitais	8 Entradas programáveis isoladas : 24 Vcc	
		1 Entrada programável isolada : 24 Vcc ①	
		1 Entrada programável isolada : 24 Vcc (para Termistor-PTC do motor) ①	
SAÍDAS	Analógicas	2 Saídas programáveis (11 bits) : 0 ... 10 V	
		2 Saídas programáveis isoladas (11 bits) : 0 ... 20 mA ou 4 ... 20 mA	
		2 Saídas programáveis bipolares (14 bits) : - 10 ... + 10 V ①	
		2 Saídas programáveis isoladas (11 bits) : 0 ... 20 mA ou 4 ... 20 mA ①	
	Relé	5 Saídas programáveis, contatos NA/NF (NO/NC) : 240 Vca, 1 A	
	Transistor	2 Saídas programáveis isoladas OC : 24 Vcc, 50 mA ①	
COMUNICAÇÃO	Interface Serial	RS-232 (ponto a ponto)	
		RS-485 , isolada , via cartões EBA ou EBB (multiponto até 30 inversores) ①	
	Redes " FieldBus "	Modbus RTU (software incorporado) via interface serial RS-485	
		Profibus DP ou DeviceNet via kits adicionais KFB ①	
SEGURANÇA	Proteções (memória das últimas 10 falhas/ alarmes com data e hora)	Sobretensão no circuito intermediário	Curto-circuito na saída
		Subtensão no circuito intermediário	Curto-circuito fase-terra na saída
		Sobretemperaturas no inversor e no motor	Erro externo
		Sobrecorrente na saída	Erro de autodiagnose e de programação
		Sobrecarga no motor (i x t)	Erro de comunicação serial
		Sobrecarga no resistor de frenagem	Falta de fase na alimentação
		Erro na CPU (Watchdog) / EPROM	Falha de conexão da interface HMI
CONDIÇÕES AMBIENTE	Temperatura	0 ... 40 °C (até 50 °C com redução de 2,5% / °C na corrente de saída)	
	Umidade	5 ... 90% sem condensação	
	Altitude	0 ... 1000 m (até 4000 m com redução de 10% / 1000 m	
ACABAMENTO	Cor	Cinza Ultra Fosco (Portas)	
		Azul Ultra Fosco (Base, Teto, Venezianas)	
CONFORMIDADES / NORMAS	Compatibilidade Eletromagnética	EMC diretiva 89 / 336 / EEC – Ambiente Industrial	
		Norma EM 61800-3 (EMC – Emissão e Imunidade)	
	CEI – IEC 61800	Adjustable Speed Electrical Power Drive System	
		Part 4 – General Requirements	
		Part 5 – Safety Requirements	
INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	Comando	Liga / Desliga , Parametrização (Programação de funções gerais)	
		Incrementa / Decrementa Velocidade	
		JOG, Inversão de sentido de rotação e Seleção Local / Remoto	
	Supervisão (Leitura)	Referência de velocidade (rpm)	Corrente de saída no motor (A)
		Velocidade no motor (rpm) T	ensão de saída no motor (V)
		Valor proporcional à velocidade (Ex.: m/min)	Estado do inversor
		Frequência de saída no motor (Hz)	Estado das entradas digitais
		Tensão no circuito intermediário (V)	Estado das saídas digitais transistor)
		Torque no motor (%)	Estado das saídas a relé
		Potência de saída (kW)	Valor das entradas analógicas
		Horas de produto energizado (h)	100 últimos erros em memória c/ data e hora
		Horas de funcionamento / trabalho (h)	Mensagens de Falhas/Alarmes
RECURSOS / FUNÇÕES DISPONÍVEIS	Opcionais	Interface Homem-Máquina Remota NEMA 4 (Display LCD)	
		Cabo para Interligação da HMI Remota (1; 2; 3; 5; 7,5 e 10 m)	
		Tampa cega para HMI local	
		Tampa cega para HMI remota	
		Kit moldura para interface remota	
		Cartões de Expansão de Funções	
		Kits para redes de Comunicação FieldBus (instalação interna ao inversor)	ProfiBus DP
			DeviceNet
		Kit SUPERDRIVE com Interface Comunicação Serial RS-232 (Inversor – Micro PC)	

BLOCODIAGRAMA

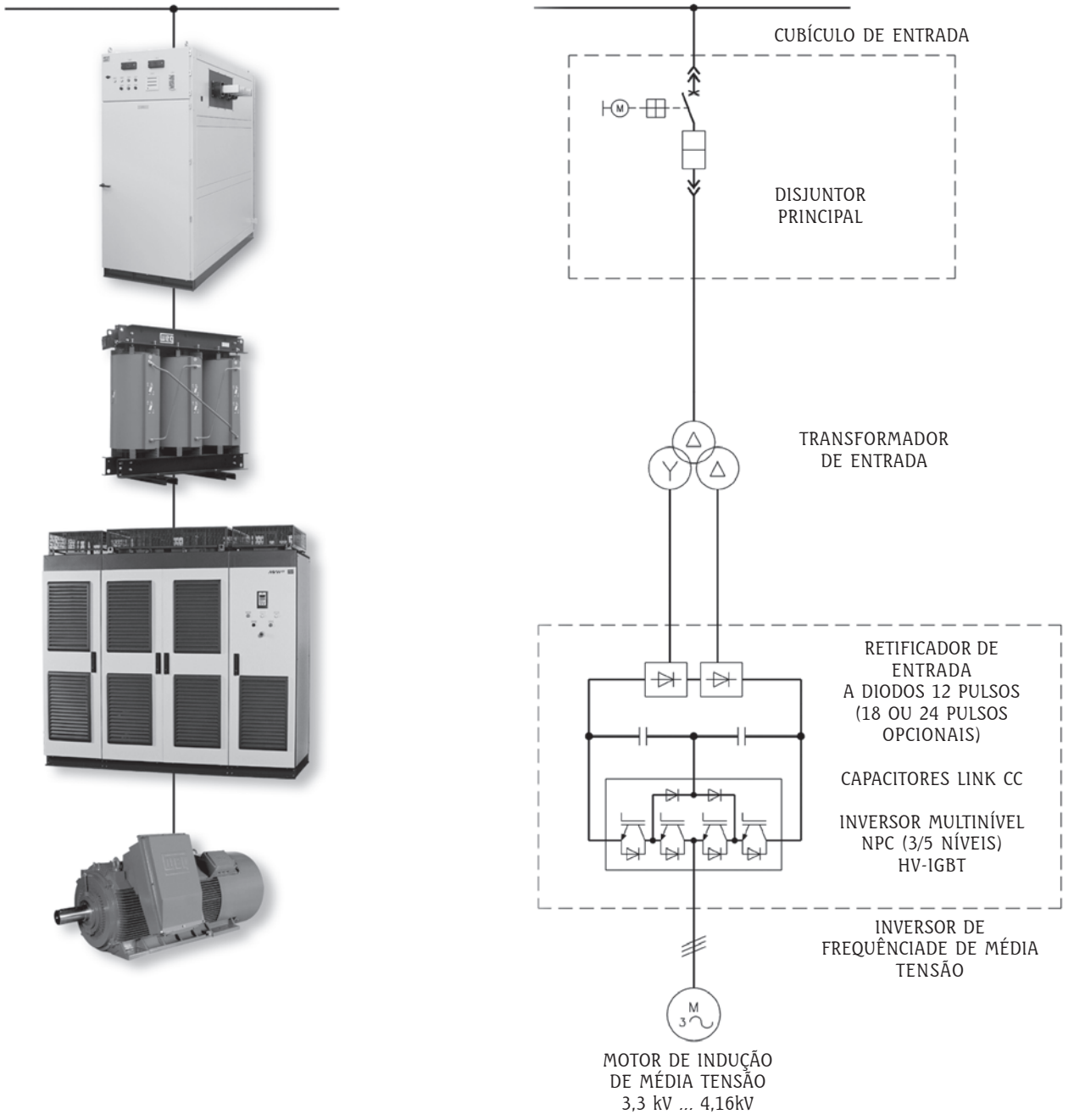


Figura 9.28 - Blocodiagrama do MVW-01

Anexo I

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

1. Momento de inércia de formas simples

2. Teorema dos eixos paralelos

3. Momento de inércia de formas compostas

4. Momento de inércia de corpos que se movem linearmente

5. Transmissão mecânica

6. Exemplos de cálculos de momento de inércia de massa
   - Cálculo do momento de inércia de massa
   - Cálculo do momento de inércia total

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

1. MOMENTO DE INÉRCIA DE FORMAS SIMPLES

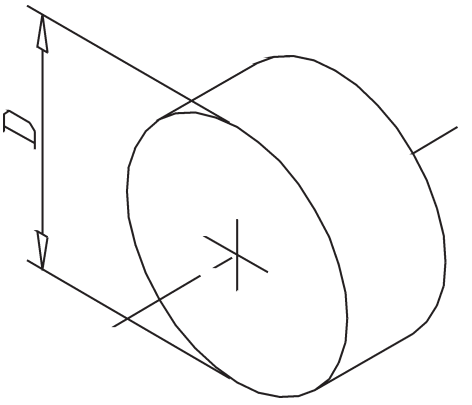
A seguir são apresentadas as expressões para o cálculo do *momento de inércia de massa* ***J*** [kgm²] de formas geométricas simples, em relação ao seu eixo baricêntrico, ou seja, o eixo que passa pelo seu centro de gravidade. Todas as unidades deverão ser as do Sistema Internacional (SI).

Serão utilizadas as seguintes notações:

- m – massa [kg]
- ρ – massa específica [kg/m³]
- D – diâmetro externo [m]
- d – diâmetro interno [m]
- D_b – diâmetro da base [m]
- l – comprimento [m]
- a, b – lados [m]

DISCO OU CILINDRO MACIÇO

O momento de inércia de massa de um disco, ou de um cilindro maciço, referido ao seu eixo longitudinal é



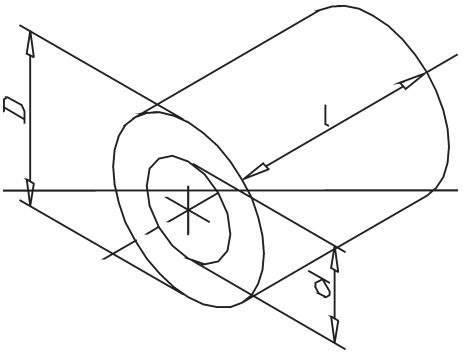
$$J = 1/8 * m * D^2 \text{ [kgm}^2\text{]}, \quad \text{(A1.1)}$$

ou

$$J = \pi/32 * \rho * D^4 * l \text{ [kgm}^2\text{]} \quad \text{(A1.2)}$$

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

CILINDRO OCO

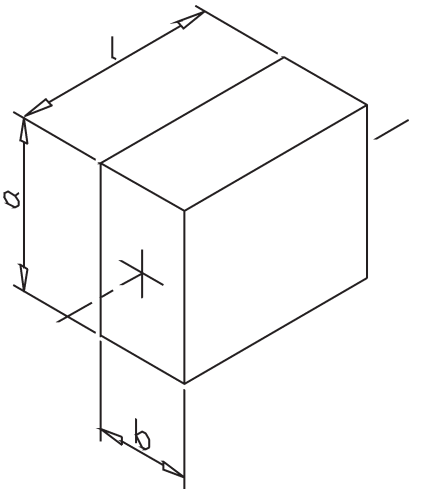


$$J = 1/8 * m * (D^2 + d^2)\ [kgm^2] \quad \text{(A1.3)}$$

ou

$$J = \pi/32 * \rho * (D^4 - d^4) * l\ [kgm^2] \quad \text{(A1.4)}$$

PARALELEPÍPEDO

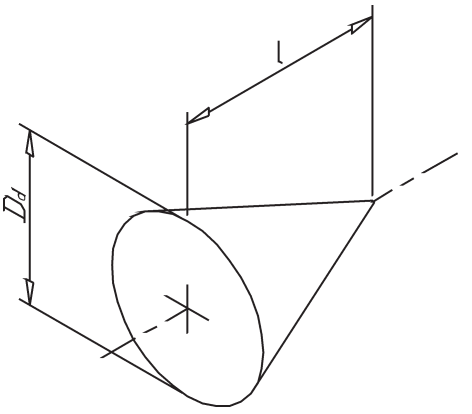


$$J = 1/12 * m * (a^2 + b^2)\ [kgm^2] \quad \text{(A1.5)}$$

ou

$$J = 1/12 * \rho * (a^3b + ab^3) * l\ [kgm^2] \quad \text{(A1.6)}$$

CONE



$$J = 3/40 * m * D_b^2 \ [kgm^2] \quad (A1.7)$$

ou

$$J = \pi/160 * \rho * D_b^4 * l \ [kgm^2] \quad (A1.8)$$

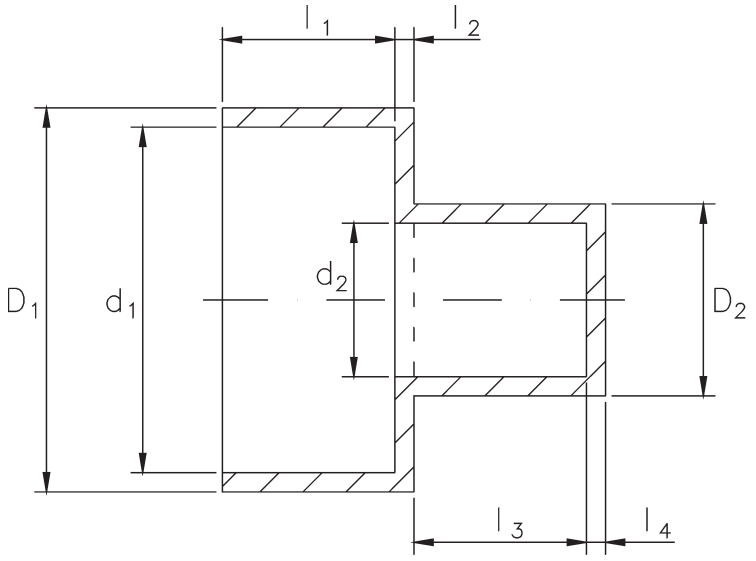
2. TEOREMA DOS EIXOS PARALELOS

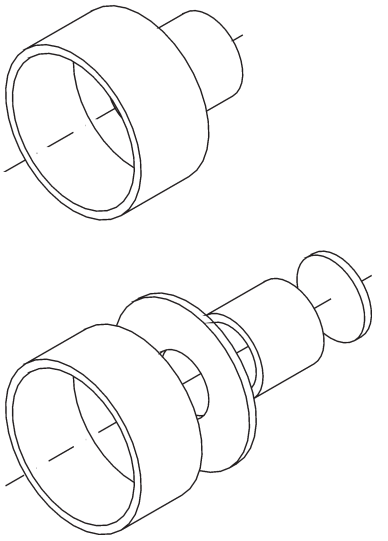
O momento de inércia de massa ***J'*** [kgm²] de um corpo em relação a um eixo paralelo ao seu eixo baricêntrico é dado por

$$J' = J + m * e^2 \quad (A1.9)$$

Sendo: e – distância entre os eixos [m], e
J – momento de inércia de massa em relação ao eixo baricêntrico

3. MOMENTO DE INÉRCIA DE FORMAS COMPOSTAS





Exemplo:

$J_1 = 1/8 * m_1 * (D_1^2 + d_1^2)$ [kgm²]

$J_2 = 1/8 * m_2 * D_1^2 + d_2^2)$ [kgm²]

$J_3 = 1/8 * m_3 * (D_2^2 + d_2^2)$ [kgm²]

$J_4 = 1/8 * m_4 * D_2^2$ [kgm²]

ou

$J_1 = (\pi * \rho) / 32 * (D_1^4 - d_1^4) * l_1$

$J_2 = (\pi * \rho) / 32 * (D_1^4 - d_2^4) * l_2$

$J_3 = (\pi * \rho) / 32 * (D_2^4 - d_2^4) * l_3$

$J_4 = (\pi * \rho) / 32 * D_2^4 * l_4$

$J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$ [kgm²]

Onde:

m_i - massa de cada primitiva i da peça [kg]

D_1, D_2 - diâmetros externos [m]

d_1, d_2 - diâmetros internos [m]

l_i - comprimentos de cada primitiva i da peça [m]

4. MOMENTO DE INÉRCIA DE CORPOS QUE SE MOVEM LINEARMENTE

O momento de inércia de uma massa ***m*** [kg] que se move linearmente reflete-se no seu eixo de acionamento da seguinte forma:

- **Acionamento através de parafuso de movimento (fuso)**

$$J = m * (p / 2\pi)^2 \ [kgm^2] \qquad (A1.10)$$

Sendo:

p – passo do fuso [m]

- **Acionamento através de pinhão/cremalheira, ou tambor/cabo, ou ainda rolete/esteira**

$$J = m * r^2 \ [kgm^2] \qquad (A1.11)$$

Sendo:

r – raio primitivo do pinhão, ou raio externo do tambor ou rolete [m]

5. TRANSMISSÃO MECÂNICA

O momento de inércia de massa é refletido do eixo de saída (2) para o eixo de entrada (1) de uma transmissão de acordo com a seguinte expressão:

$$J_1 = J_2 / i^2 \qquad (A1.12)$$

Onde:

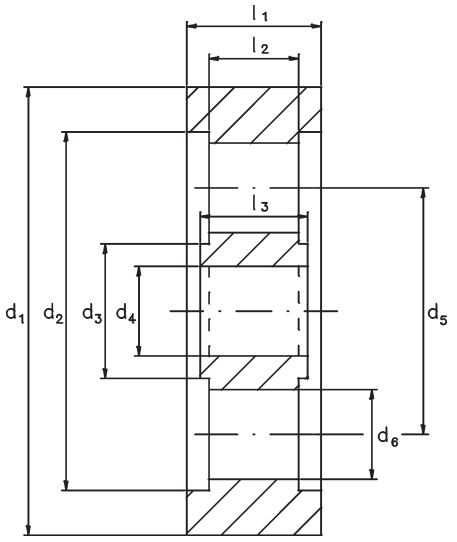
J_2 – momento de inércia [kgm²] no eixo de saída (2), com rotação n_2 [rpm]

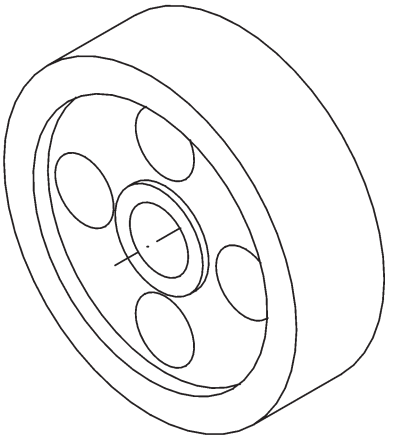
J_1 – momento de inércia [kgm²] no eixo de entrada (1), com rotação n_1 [rpm]

i – razão de transmissão ($i = n_1 / n_2$)

6. EXEMPLOS DE CÁLCULOS DE MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

- **Calcular o momento de inércia de massa J do volante mostrado na figura abaixo**





- Momento de inércia do volante maciço

$$J_1 = (\pi * \rho) / 32 * d_1^4 * l_1$$

- Momento de inércia dos alívios laterais (negativo)

$$J_2 = (\pi * \rho) / 32 * d_2^4 * (l_1 - l_2)$$

- Momento de inércia dos excessos laterais do cubo (positivo)

$$J_3 = (\pi * \rho) / 32 * d_3^4 * (l_3 - l_2)$$

- Momento de inércia do furo do cubo (negativo)

$$J_4 = (\pi * \rho) / 32 * d_4^4 * l_3$$

- Momento de inércia de um furo da alma

$$J_5 = (\pi * \rho) / 32 * d_5^4 * l_2$$

- Transposição de e) para o eixo baricêntrico do volante

$$J'_5 = [(\pi * \rho) / 32 * d_5^4 * l_2] + [(\pi * \rho) / 16 * d_5^2 * d_6^2 * l_2]$$

$$J'_5 = (\pi * \rho) / 32 * d_5^2 * l_2 * (d_5^2 + d_6^2)$$

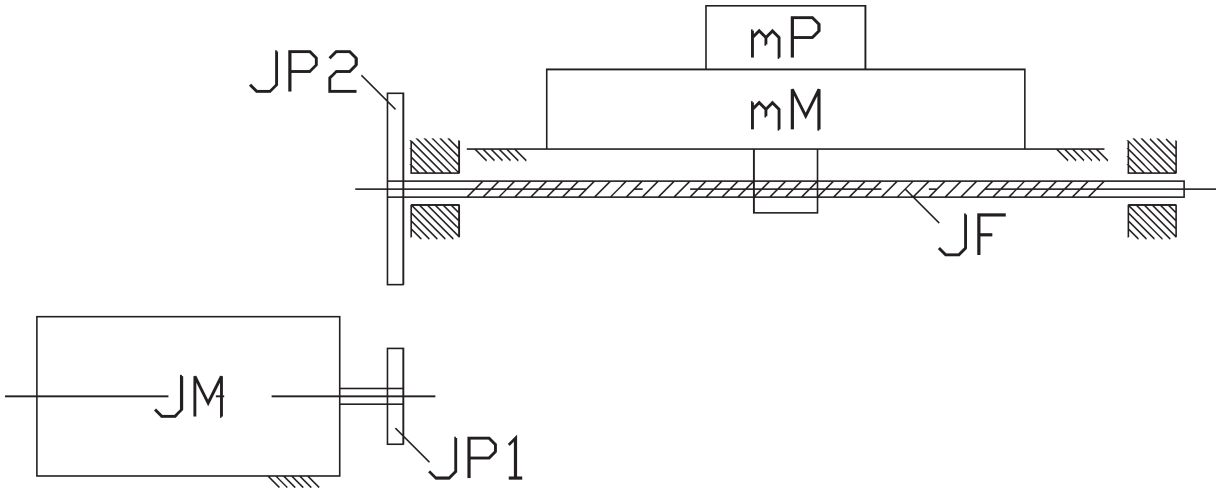
- Momento de inércia de massa do volante

$$J = J_1 - J_2 + J_3 - J_4 - (4 * J'_5)$$

$$J = (\pi * \rho) / 32 * \{d_1^4 * l_1 - d_2^4 * (l_1 - l_2) + d_3^4 * (l_3 - l_2) - d_4^4 * l_3 - 4 * [d_5^2 * l_2 * (d_5^2 + 2 * d_6^2)]\}$$

CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DE MASSA

- **Para o sistema mostrado no diagrama abaixo, calcular o momento de inércia total referido ao eixo do motor**



Dados:

J_M = momento de inércia de massa do rotor do motor [kgm²]

J_{P1} = momento de inércia de massa da polia motora P_1 [kgm²]

J_{P2} = momento de inércia de massa da polia movida P_2 [kgm²]

I = razão de transmissão ($i = n_1 / n_2$)

J_F = momento de inércia de massa do fuso de esferas recirculantes [kgm²]

p_F = passo da rosca do fuso de esferas recirculantes [m]

m_M = massa móvel da mesa da máquina [kg]

m_P = massa da peça [kg]

Logo,

$J_{TOt} = J_M + J_{P1} + (1/I^2) * [J_{P2} + J_F + (p_F/2\pi)^2 * (m_M + m_P)]$

Anexo II

CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA E REDUÇÃO DA DISTORÇÃO HARMÔNICA DA REDE EM INSTALAÇÕES COM INVERSORES DE FREQÜÊNCIA

1. Introdução

2. Distorção harmônica

3. Normas relacionadas

4. Alternativas para correção do fator de potência e redução de correntes harmônicas

5. Conclusão

CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA E REDUÇÃO DA DISTORÇÃO HARMÔNICA

1. INTRODUÇÃO

É inegável a utilização cada vez maior de inversores de freqüência para o controle de velocidade de motores. Sua utilização na área industrial é prática comum e também cresce nas áreas comerciais e domésticas (refrigeração, condicionamento de ar, eletrodomésticos, etc). A variação da velocidade dos motores através de inversores traz como vantagens a melhoria da eficiência dos processos/equipamentos e também no uso mais racional da energia elétrica.

Devido as características do circuito de entrada dos inversores, normalmente constituído de um retificador a diodos e um banco de capacitores de filtro, a sua corrente de entrada (drenada da rede) possui uma forma de onda não senoidal contendo harmônicas da freqüência fundamental. Estas correntes harmônicas circulando nas impedâncias da rede de alimentação provocam quedas de tensão harmônicas distorcendo a tensão de alimentação do próprio inversor ou de outros consumidores. Como efeito destas distorções harmônicas de corrente e tensão podemos ter o aumento de perdas elétricas nas instalações com sobre-aquecimento dos seus componentes (cabos, transformadores, bancos de capacitores, motores, etc), falhas no funcionamento de equipamentos eletrônicos bem como um baixo fator de potência.

O conceito de "Power Quality (PQ)", que pode ser traduzido como qualidade da energia elétrica, tem ganho cada vez mais importância e algumas empresas têm adotado normas para garantir um determinado nível deste, nos sistemas elétricos de potência projetados e colocados em funcionamento nas suas instalações. Isto exige conhecimento técnico das características elétricas de entrada dos inversores de freqüência e sua interação com o sistema elétrico.

Os objetivos deste artigo são o de analisar os princípios da geração de harmônicos dos inversores de freqüência destinados ao acionamento de motores, os efeitos causados na rede elétrica de alimentação e as opções que podem ser empregadas para minimização destes efeitos.

2. DISTORÇÃO HARMÔNICA

2.1 ORIGENS

A grande maioria dos inversores de freqüência para motores de indução apresenta uma corrente de entrada (corrente consumida da rede elétrica CA) com forma de onda não senoidal. O circuito de entrada mais freqüentemente encontrado constitue-se basicamente de uma ponte retificadora de diodos monofásica ou trifásica, dependendo da potência do inversor de freqüência, e um banco de capacitores de filtro conectado a saída deste retificador (no denominado circuito intermediário), como mostrado na figura 1. Para potências maiores é comum a adição de impedâncias limitadoras tais como reatâncias de rede (Lr) ou bobinas CC (Lcc) no circuito intermediário, localizadas interna ou externamente aos inversores de freqüência.

O espectro das formas de onda da corrente (Ir) consumida da rede apresenta um valor fundamental (componente de 50 ou 60Hz) e harmônicas de ordem superior. Em geral as harmônicas de ordem par possuem amplitudes desprezíveis assim como as de ordem múltiplas de 3 para os casos de alimentação trifásica.

A conexão destes inversores de freqüência a uma rede elétrica ocasiona uma distorção na tensão devido a queda na impedância série da rede, a qual é devida normalmente a impedância série de transformadores e a impedância dos cabos de interconexão. Esta impedância é representada por uma indutância pura (Ls) para efeito de análise. A amplitude das harmônicas de tensão no PCC podem ser calculadas se conhecidos os valores da reatância de rede e das amplitudes das correntes harmônicas:

$$V_h = h \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_s \cdot I_{rh}$$

Onde:

Vh = tensão harmônica de ordem h devido a corrente harmônica de ordem h

f = freqüência da rede de alimentação

Irh = corrente harmônica de entrada de ordem h

É importante salientar que o circuito de entrada não pode ser caracterizado como uma fonte de correntes harmônicas como comumente é feito para os acionamentos de corrente contínua, pois as harmônicas da corrente de entrada são dependentes como uma

função não linear da soma dos valores das reatâncias presentes na entrada do retificador (Lr ou Lcc) e da reatância de rede (Ls). Uma vez conhecidas as reatâncias, as harmônicas de correntes podem ser calculadas ou facilmente obtidas através de simulação.

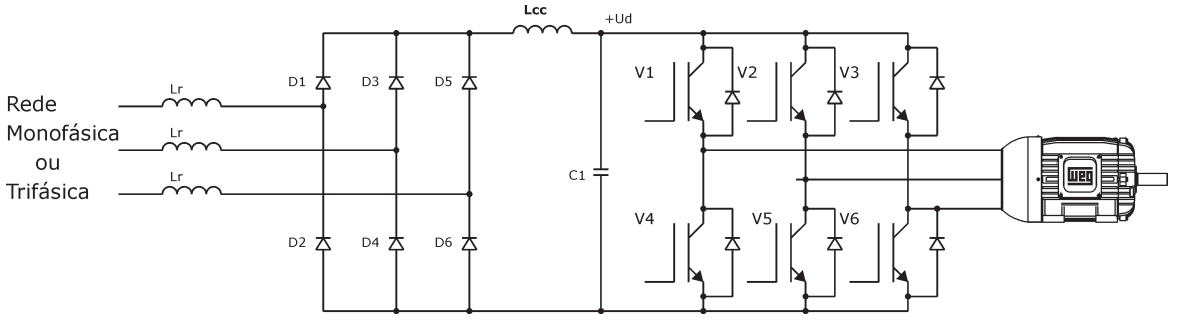


Figura 1 - Circuito de potência típico dos inversores de freqüência

2.2 DEFINIÇÕES

O ponto de interesse para se avaliar o valor da distorção harmônica de tensão é o denominado Ponto de Conexão Comum (PCC) que é o ponto onde são conectados os Inversores de Freqüências e as demais cargas alimentadas por esta rede. Como figura de mérito para se avaliar a distorção harmônica da rede elétrica no PCC utiliza-se a Distorção Harmônica Total de Tensão (no inglês denominada por THD) e definida como segue:

$$THD(V)\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$$

onde:

V = amplitude da onda fundamental de tensão (50 ou 60Hz);

Vh = amplitude da harmônica de tensão de ordem h [em muitas aplicações práticas a medição e análise é limitada a 31ª harmônica (h=31) sem sacrifício da precisão].

Além da distorção harmônica da tensão outra grandeza de interesse é o fator de potência na entrada. O fator de potência considerado é o chamado fator de potência total (FP). Não confundir com o COS ϕ1 da onda

fundamental. O fator de potência é definido como segue:

(entrada trifásica)

$$FP = \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot I_e \cdot V_e}$$

(entrada monofásica)

$$FP = \frac{P_e}{I_e \cdot V_e}$$

Onde:
Pe = potência ativa na entrada do inversor de freqüência [W]
Ie = corrente na entrada do inversor de freqüência [A]
Ve = tensão na entrada do inversor de freqüência [V]

O fator de potência na entrada também pode ser expresso em função da distorção harmônica de corrente e do COS $\phi 1$ da fundamental como segue:

$$FP = \frac{COS\phi 1}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

Onde:
$COS\phi 1$ = fator de potência da onda fundamental

μ = distorção harmônica de corrente, definida pela equação:

$$\mu = \frac{\sqrt{\sum_{2}^{h} I_h^2}}{I_1}$$

Pelas equações nota-se que quanto menor a distorção harmônica de corrente mais o fator de potência total se aproxima do fator de potência da onda fundamental.

Na prática o COS $\phi 1$ da onda fundamental é muito próximo de 1. Portanto, um método eficaz para aumento do FP é o da redução das amplitudes das harmônicas da corrente de entrada, o que pode ser conseguido através de diversos métodos a serem mostrados posteriormente.

2.3 OBTENÇÃO DAS HARMÔNICAS DE CORRENTE

Os valores característicos dos circuitos de entrada dos inversores de freqüência estão indicados na Tabela 1 para redes monofásicas e na Tabela 2 para redes trifásicas.

Tabela 1 - Valores característicos do circuito de entrada de inversores de freqüência para redes monofásicas. Valores expressos em percentual da corrente nominal de saída do inversor.

X	Ir1	Ir3	Ir5	Ir7	Ir9	Ir11	Ir13	Ir15	Irms	THD(I)	FP
0,5	160	138,8	103,0	63,2	30,1	12,8	11,9	10,2	247	117	0,64
1	160	128,6	82,2	38,0	13,7	12,4	8,8	5,3	225	99	0,69
2	160	115,4	57,9	17,7	12,8	8,4	5,3	4,4	207	82	0,73
3	160	105,6	43,3	13,3	11,5	5,8	5,3	3,1	198	72	0,75
4	160	98,1	33,6	12,8	9,3	5,3	4,0	2,6	191	66	0,76
5	160	91,5	26,5	12,8	7,1	5,3	3,1	2,6	187	60	0,77

Tabela 2 - Valores característicos do circuito de entrada de inversores de freqüência para redes trifásicas. Valores expressos em percentual da corrente nominal de saída do inversor.

X	Ir1	Ir5	Ir7	Ir11	Ir13	Irms	THD(I)	FP
0,5	93	72,2	54,8	21,4	9,8	131	101	0,69
1	93	63,7	42,3	9,4	6,0	121	84	0,75
2	93	47,3	24,2	6,7	4,9	106	59	0,83
3	93	37,3	14,9	6,7	3,4	99	45	0,88
4	93	32,7	11,0	6,3	3,0	96	39	0,90
5	93	29,6	8,7	5,8	3,0	96	35	0,91

As tabelas 1 e 2 indicam os valores das correntes harmônicas Irh de ordem h e da corrente eficaz de entrada expressas em percentual da corrente nominal de saída do inversor de freqüência. O valor da taxa de distorção harmônica de corrente THD(I) é definido por:

$$THD(I)\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} Irh^2}}{Ir1}$$

Os valores são indicados em função do valor da queda de tensão percentual nas reatâncias indutivas presentes no circuito de entrada do inversor de freqüência (Ls + Lr + Lcc/2 da figura 1) quando percorridos pela corrente de saída nominal do inversor.

3. NORMAS RELACIONADAS

Muitas empresas utilizam integralmente ou em parte os requisitos desta norma para criar suas próprias normas e critérios internos de especificação.
Em 1981 o IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) estabeleceu os riscos e recomendou níveis de distorção harmônica de tensão em seu "paper" IEEE-519. Este documento foi revisado em 1992 para incluir níveis máximos recomendados de distorção harmônica de corrente.
Esta norma define um THD máximo de 3% para Sistemas em Geral (General System) valor este mostrado na tabela 10.2 desta norma aqui reproduzida.

Tabela 3 - Reprodução da Tabela 10.2 da IEEE-519 -"Low-Voltage System Classification and Distortion Limits" (Classificação de Sistemas de Baixa Tensão e Níveis de Distorção).

	Aplicações Especiais	Sistemas Genéricos	Sistemas Dedicados
"Profundidade dos Notches" THD (V) Área dos Notches	10% 3% 16.400	20% 5% 22.800	50% 10% 36.500
Aplicações especiais incluem hospitais e aeroportos. Um sistema dedicado é exclusivamente dedicado para alimentar o conversor.			

Para uma análise de atendimento dos requisitos desta norma é necessário termos informações da instalação (impedância % ou impedância de curto-circuito dos transformadores, corrente de demanda nominal, bitolas e comprimento de cabos, tipo e localização das cargas, etc) e informações dos inversores de freqüência fornecidas pelo fabricante (amplitude das harmônicas de corrente).

Na Europa estão previstas a adoção de normas que limitam as harmônicas de corrente consumidas pelos inversores de freqüência. Estas normas são normas de produto diferentemente da IEEE-519 a qual não limita as harmônicas do inversor de freqüência independentemente, mas sim o seu efeito no sistema. A norma EN 61800-3: 1996 – "Adjustable speed electrical power drive systems" (dispositivos de drives elétricos de potência com velocidade variável) – Part 3 – "EMC product standard including specific test methods" (norma de EMC incluindo métodos de teste específicos) estabelece que os fabricantes de inversores de freqüência deverão disponibilizar informações sobre os níveis de harmônicas de corrente sob carga nominal como um percentual da corrente nominal. Os valores devem ser mostrados para ordem de harmônicas até pelo menos a 25ª sob certas condições de rede: razão de curto-circuito (Rsc) = 250, 1% de distorção inicial em tensão e impedância da rede puramente indutiva. Para equipamentos com corrente de entrada <16A é necessário o atendimento dos requisitos da norma IEC 1000-3-2 – "Harmonic limits for equipment with input currents <16A per phase (limites de harmônicas para equipamentos com correntes de entrada <16A por fase) a qual substitui a antiga IEC 555-2. Para equipamentos com correntes >16A o atendimento da futura norma IEC 1000-3-4 é recomendado.

A IEC 1000-3-2 publicada em 1995 para ser seguida a partir de 1º de Janeiro de 1997, foi adiada primeiramente para 1º de Junho de 1998 e mais recentemente para 1º de Janeiro de 2001. As datas para obrigatoriedade do atendimento destas normas na Europa tem sofrido várias alterações, sendo muitas vezes difícil se chegar a um consenso sobre um assunto complexo e que requer dos fabricantes de inversores de freqüência alterações substanciais nos projetos para cumprimento dos requisitos, com reflexo principalmente no custo.

4. ALTERNATIVAS PARA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E REDUÇÃO DAS CORRENTES HARMÔNICAS

4.1 CAPACITORES

O uso de capacitores para correção de fator de potência em redes elétricas que alimentam inversores de freqüência pode ocasionar problemas como ressonâncias série ou paralela na rede elétrica excitadas pelas harmônicas da corrente consumida pelos inversores. Além disto os capacitores podem ser sobrecarregados por estas correntes harmônicas. Os riscos de problemas são tanto maiores quanto maior for o peso das cargas não lineares em relação as lineares e quanto mais próximo os capacitores estiverem destas cargas.

Para reduzir o risco de problemas no uso destes capacitores sugere-se o seguinte:

- somente utilizar capacitores para correção de fator de potência quando as correntes consumidas pelos inversores e outras cargas não-lineares representarem no máximo 20% da corrente total de demanda. Neste caso os capacitores corrigem o fator de potência somente das cargas lineares.
- utilizar sempre reatores em série com os capacitores.
- posicionar os capacitores fisicamente longe dos inversores, se possível na alta tensão.
- dimensionar os capacitores considerando as correntes de 60Hz e das harmônicas.

4.2 REATÂNCIA DE REDE E BOBINA CC

A introdução de uma indutância em série com a alimentação (reatância de rede) ou no circuito intermediário (bobina cc),acarreta uma melhora do fator de potência (aumento) e uma diminuição da distorção harmônica da corrente como mostrado na figura 2.

Para drives com entrada trifásica e potência maior que 15HP é prática comum o uso de reatância de rede na entrada destes.

Como vantagens adicionais da reatância de rede estão a redução da corrente eficaz nos diodos do retificador, redução da corrente de ripple nos capacitores do circuito intermediário e a limitação da área dos "notches", provocados por curto-circuitos momentâneos da rede elétrica devidos à condução simultânea dos diodos do retificador. A área dos "notches" possui limites definidos na norma IEEE-519 1992. A reatância de rede ainda reduz a incidência de bloqueio dos drives por sobretensão no circuito intermediário devido a surtos de tensão na rede

elétrica. Neste caso, pelo fato destes transientes que causam sobretensão serem de modo diferencial, o efeito limitador da reatância de rede é maior quando comparado a bobina cc pelo fato da indutância aparecer de forma duplicada.

Na figura 2 podemos ver que a introdução de uma bobina cc em um drive de 25HP/440V com entrada trifásica causa uma diminuição do ripple de tensão no circuito intermediário sem no entanto diminuir o valor médio desta tensão. A utilização de bobina cc, dependendo da combinação dos valores de impedância de rede, indutância da bobina cc e da capacitância do link DC, pode resultar em ressonâncias indesejadas com o sistema. A corrente de entrada também passa de descontínua para contínua (com a bobina cc) o que pode introduzir 'notches" na tensão da rede.

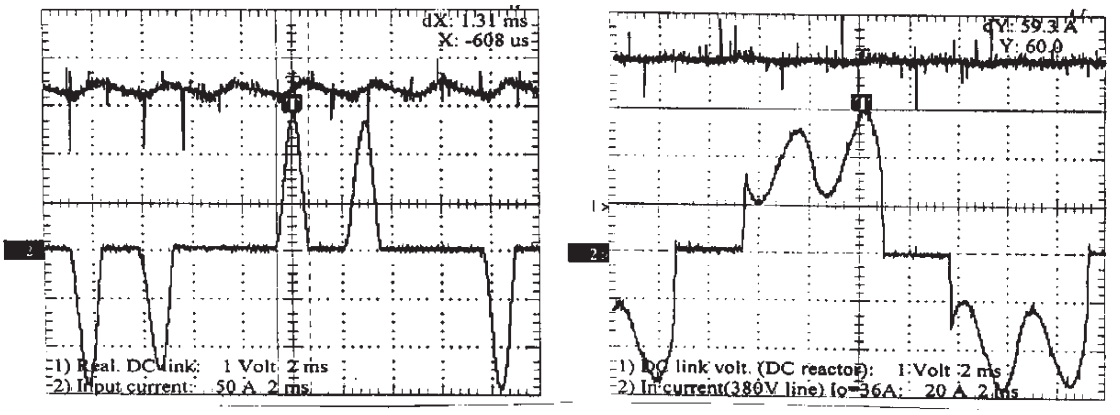


Figura 2 - Formas de onda medidas em um inversor de 25HP com alimentação trifásica em 440V/60Hz
(a) Forma de onda da corrente de entrada e da tensão no circuito intermediário sem reatância de rede e sem bobina cc
(b) Forma de onda da corrente de entrada e da tensão no circuito intermediário sem reatância de rede e com bobina cc

A inclusão da reatância de rede também provoca uma diminuição do valor da tensão média do circuito intermediário comparada aquela obtida sem reatância. A maioria dos inversores de freqüência é do tipo PWM com índice de sobremodulação limitado, não atingindo a chamada onda quase-quadrada na saída com o objetivo de reduzir as perdas no motor. A tensão de saída máxima é dada por:

$$V_{o,\,máx} = \frac{1{,}05 \cdot V_{dc}}{\sqrt{2}}$$

Onde:

Vo,máx = tensão eficaz máxima na saída do Inversor de Freqüência (Volts)

Vdc = valor médio da tensão no circuito intermediário (Volts)

A utilização de reatância de rede que apresenta uma queda de tensão percentual de 2 a 3% para a corrente nominal do inversor de freqüência resulta num bom compromisso entre a queda de tensão no motor, melhoria do fator de potência e redução da distorção harmônica da corrente.

4.3 FILTROS SINTONIZADOS

Uma alternativa para diminuir a distorção harmônica e aumentar o fator de potência de inversores é o uso de filtros sintonizados.

No caso dos inversores de freqüência com entrada monofásica o mais comum é o filtro série sintonizado na 3ª harmônica. Neste caso a distorção da corrente é menor que a obtida com a reatância de rede, sendo que a amplitude da 3ª harmônica é reduzida a zero. A tensão do circuito intermediário apresenta uma queda significativa em comparação ao valor obtido sem filtro.

Outra alternativa são os Filtros Sintonizados (ou Filtros Filtros Shunt, Paralelos ou "Trap-Filters"). O uso destes filtros, apesar de citados na IEEE-519, pode ocasionar problemas de ressonância com a rede de alimentação ou pode haver a "importação de correntes harmônicas" de outras cargas não lineares, sobrecarregando o filtro. Em ambos os casos citados poderemos ter uma distorção maior da rede e/ou uma sobrecarga nos componentes do filtro. Portanto, para uso destes filtros faz-se necessário uma análise detalhada envolvendo todo o sistema.

Uma alternativa recentemente proposta por fabricantes de filtros é o uso de Filtros Shunt + Reatância de Rede, como mostrado na figura 3. Vários filtros poderiam ser utilizados em paralelo cada um sintonizado para uma determinada harmônica. A vantagem de tal configuração é possibilitar a redução

das harmônicas da corrente consumida da rede elétrica sem o perigo de haver a "importação de correntes harmônicas" de outras cargas, devido ao fato do filtro operar apenas com as harmônicas de corrente do drive, estando "isolado" das demais cargas pela reatância série. Além disto a possibilidade de ocorrerem ressonâncias com a rede elétrica é minimizada pelo fato da reatância série deslocar a freqüência natural de ressonância para um valor menor que a freqüência da rede.

O contator K1 é utilizado para desconectar os capacitores da linha enquanto o inversor estiver desabilitado, evitando o excesso de capacitores na rede.

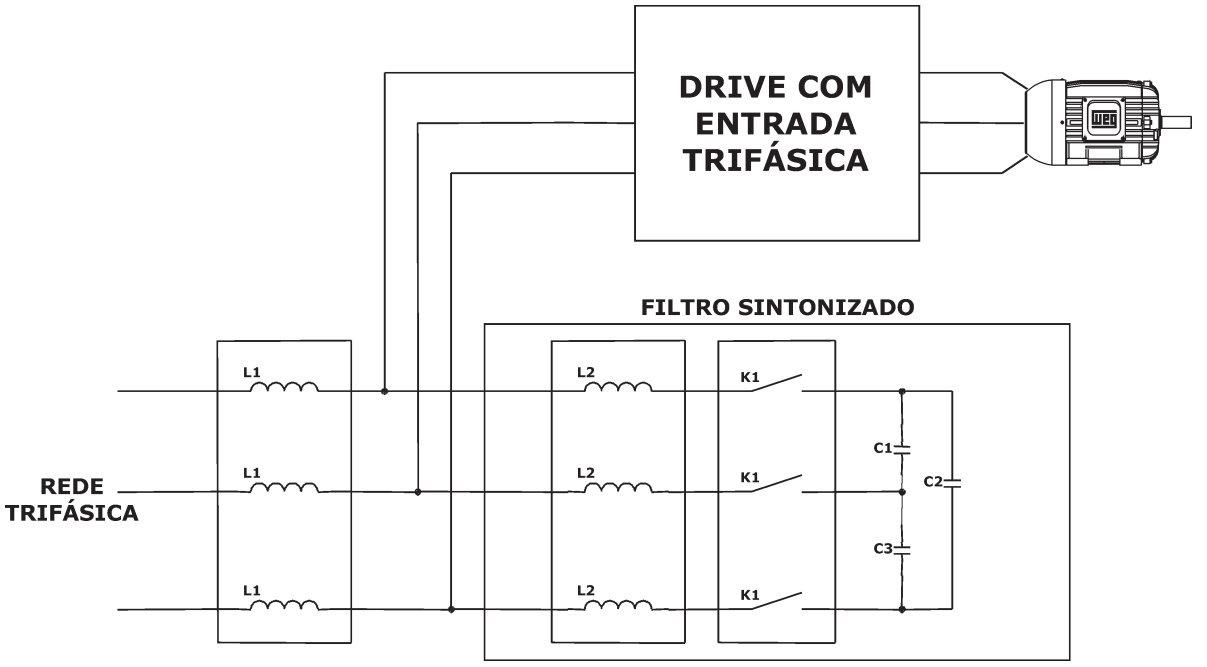


Figura 3 - Filtro shunt + reatância de rede

4.4 FILTROS "BROAD-BAND"

Uma nova alternativa que compete com a anterior para o caso de inversores de freqüência com entrada trifásica é o chamado Filtro tipo "Broad-Band". Na prática trata-se de um filtro passa-baixa com um transformador para regulação de tensão, como mostrado na figura 4. O transformador é necessário para manter a tensão do circuito intermediário aproximadamente constante com a variação da carga do motor acionado pelo drive.

Diferente da alternativa anterior (filtro shunt + reatância de rede), problemas de "importação de correntes harmônicas" de outras cargas ou ressonância não ocorrem.

Valores típicos obtidos com uso destes filtros conectados a entrada de um drive trifásico são THD(I)=8 a 10% e FP=0,90 a 0,95 em avanço, para carga nominal e 0,20 a 0,30 também em avanço para a situação do drive bloqueado.

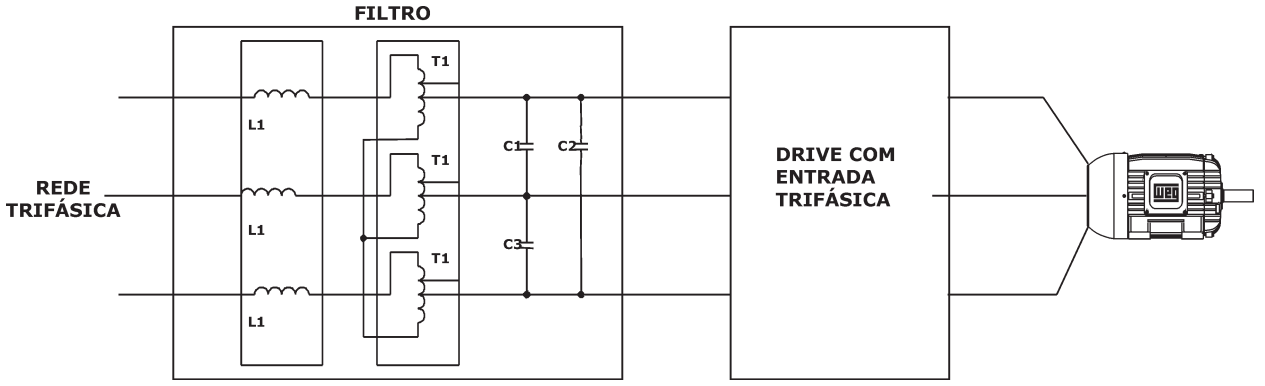


Figura 4 - Circuito do Filtro Broad-Band

4.5 FILTROS ATIVOS

Outro método muito eficaz para atenuação das harmônicas de corrente são os equipamentos para correção ativa que são instalados em paralelo com a alimentação e externamente aos inversores. Estes equipamentos possuem um circuito de controle que faz com que absorvam uma corrente reativa de forma a compensar os reativos do inversor (figura 5). A aplicação destes filtros ativos deverá seguir a orientação dos fabricantes destes e os níveis de atenuação serão controlados de acordo com a potência e o número de filtros utilizados. Para inversores de maior potência é necessário o uso de diversos filtros em paralelo.

Uma característica destes filtros é que, para que tenham um funcionamento eficiente, a velocidade de resposta de controle deve ser alta. Na prática isto significa que, além de algoritmos de controle com resposta rápida, os semicondutores de potência destes equipamentos devem operar com freqüências de chaveamento altas (maior que 10KHz), o que implica em gastos de energia adicionais e custo elevado.

O uso correto deste tipo de filtro reduz drasticamente a distorção da corrente absorvida da rede elétrica. Resultados típicos obtidos com este tipo de filtro são mostrados na figura 6.

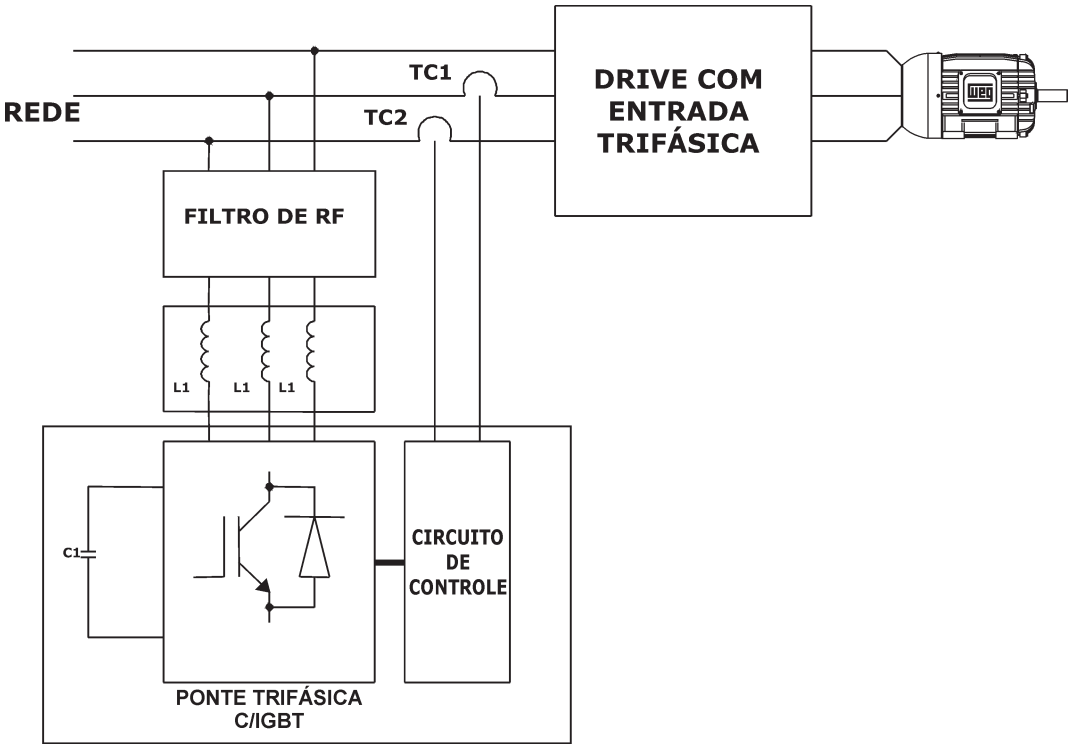


Figura 5 - Exemplo de uso de Compensador Ativo Paralelo com Inversor de Freqüência

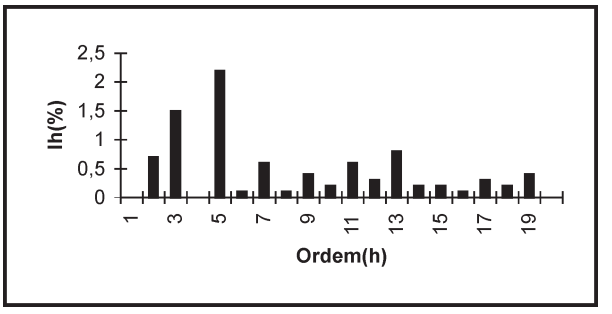


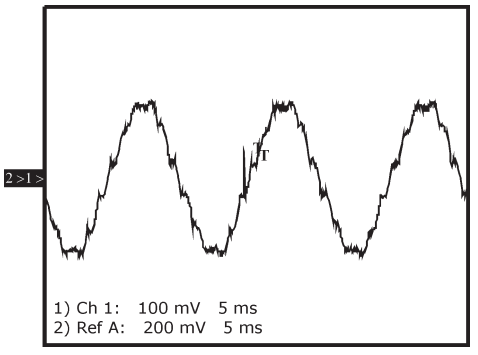
Figura 6 - Harmônicas da corrente consumida da rede elétrica com o uso de um compensador ativo paralelo com corrente nominal de 103 A ligado à entrada de um inversor trifásico. O THD(I) é reduzido de 76,4% para 3,7%

4.6 RETIFICADORES DE 12 E 18 PULSOS

Uma das alternativas para a redução da distorção harmônica da corrente e o aumento do fator de potência dos inversors com entrada trifásica é a utilização de circuitos retificadores com maior número de pulsos. Para inversores de baixa tensão são utilizados retificadores de 12 ou 18 pulsos. Na figura 7 temos um exemplo de medições feitas em um caso prático de uso de um inversor de 250HP com um transformador defasador (estrela/delta) mais retificador de 12 pulsos com conexão série.

Teoricamente as harmônicas de ordem h<11 deveriam apresentar amplitude zero. No entanto desequilíbrios entre as reatâncias de dispersão de fluxo dos secundários Y/Δ do transformador fazem com que na prática tenhamos valores diferentes de zero como visto na tabela da figura 7. A amplitude da terceira harmônica mostrada pode ser devida a distorção já existente na tensão da rede de alimentação, mesmo antes da instalação do inversor, provocada por outras cargas não lineares ligadas nesta rede elétrica e efeitos de saturação de transformadores de alimentação. A distorção harmônica da corrente é bastante reduzida THD(I)=8,6% e o fator de potência elevado FP=0,98.

(a)



(b)

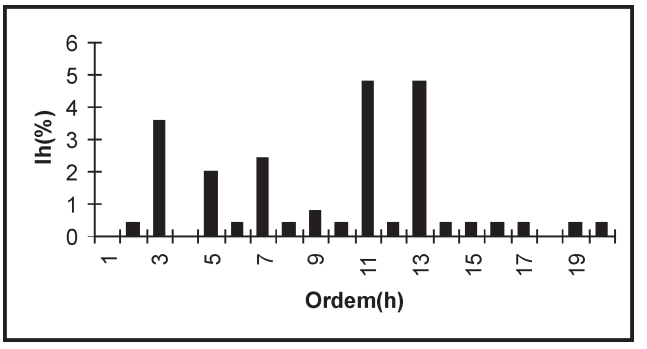


Figura 7 - Dados de medição em um caso real de uso de um Inversor de 250HP com retificador de 12 pulsos, conexão série, alimentação em 480V trifásico, acionando motor de 250HP - 460V com carga nominal
(a) Forma de onda da corrente de linha
(b) harmônicas de corrente, THD(I)=8,6%. O fator de potência medido na entrada do inversor é PF=0,98

4.7 RETIFICADORES COM IGBTS

4.7.1 Inversores de Freqüência com entrada monofásica

No caso de inversores com entrada monofásica é possível a modificação da topologia do circuito de entrada para introduzir correção ativa das harmônicas para atender, por exemplo, a IEC 1000-3-2. Várias topologias do circuito de potência tem sido estudadas. Porém, os custo obtidos até agora não tem permitido o seu uso na maioria das aplicações industriais. Note-se que o mercado de inversores de freqüência com entrada monofásica limita-se a potências de no máximo 2HP. Esta faixa de potência é dominada pelos chamados "microdrives", sendo um mercado extremamente competitivo com uma pressão enorme sobre preços, dimensões físicas e facilidade de operação e colocação em funcionamento.

4.7.2 Inversores de Freqüência com entrada trifásica

No caso dos inversores de freqüência com entrada trifásica podem ser usados retificadores de entrada com IGBTs. Estes podem ser fornecidos como dispositivos opcionais para serem instalados externamente ou já virem de fábrica instalados dentro do inversor em substituição ao retificador de diodos deste. Neste caso, além da eliminação das harmônicas de baixa ordem de forma bastante eficaz, é possível a regeneração de energia para a rede elétrica. Na figura 8 são apresentadas algumas medidas feitas em um inversor de 50HP provido de um retificador com IGBTs. Nota-se que independentemente da carga, se torque resistente (modo motor) ou de frenagem (modo gerador), a corrente permanece praticamente senoidal e em fase com a tensão garantindo com isso uma baixa distorção harmônica e um alto fator de potência (praticamente unitário).

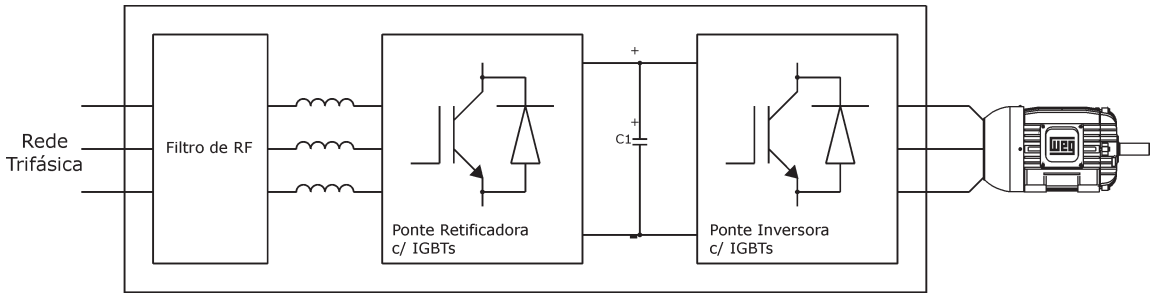


Figura 8 - Blocodiagrama de inversor com retificador com IGBTs

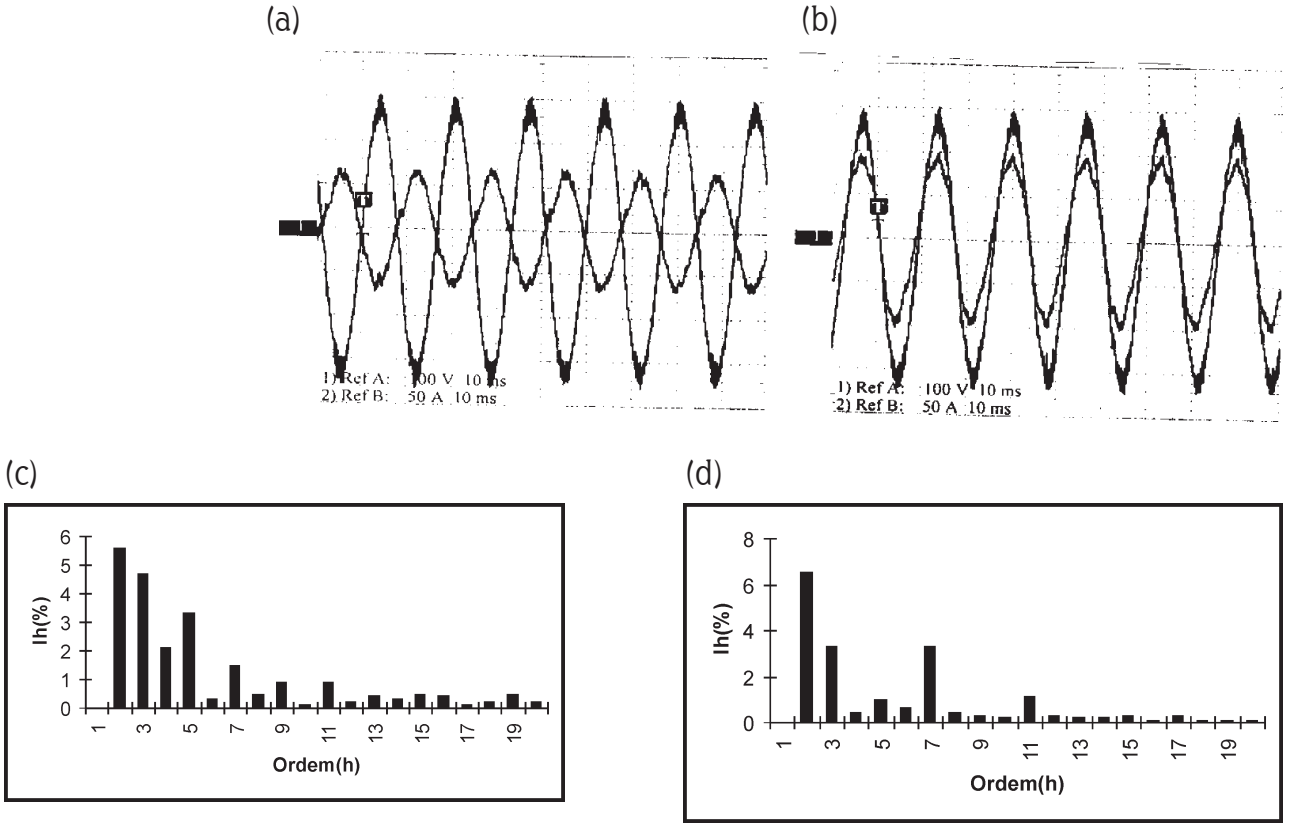


Figura 9 - Medidas feitas em um caso real de uso de um inversor de 50HP, alimentação em 380V e com retificador de entrada com IGBTs
(a) Formas de onda da corrente e tensão de rede para a situação do motor frenando com 70% da carga nominal [I1=43,8A; THD(I)=8,7%; PF=-0,97]
(b) Formas de onda da corrente e tensão de rede para a situação do motor com carga nominal [I1=65,2A; THD(I)=8,2%; PF=0,97]
(c) Harmônicas de corrente para as situações (a) e (b).

4.8 FILTROS DE CORRENTE DO NEUTRO

Em instalações onde existem diversos inversores com entrada monofásica é possível utilizar filtros com objetivo de atenuar a amplitude das harmônicas triplas de corrente (3ª, 9ª e 15ª) que circulam no neutro.
O uso destes filtros, além de reduzir a distorção da tensão provocada pelas citadas harmônicas de corrente, reduz a sobrecarga no cabo do neutro. A bitola do cabo do neutro é muitas vezes dimensionada para uma capacidade de corrente inferior a dos cabos utilizados nas fases. Na figura 10 podemos observar uma aplicação típica deste tipo de filtro. O filtro deve ser posicionado o mais próximo possível dos inversores, de forma a evitar que as harmônicas triplas da corrente circulem por um trecho grande da instalação.

O filtro é constituido de uma carga reativa de baixa impedância de seqüência zero. Na prática trata-se de

um autotransformador em delta ou em configurações mais complexas tipo zig-zag.

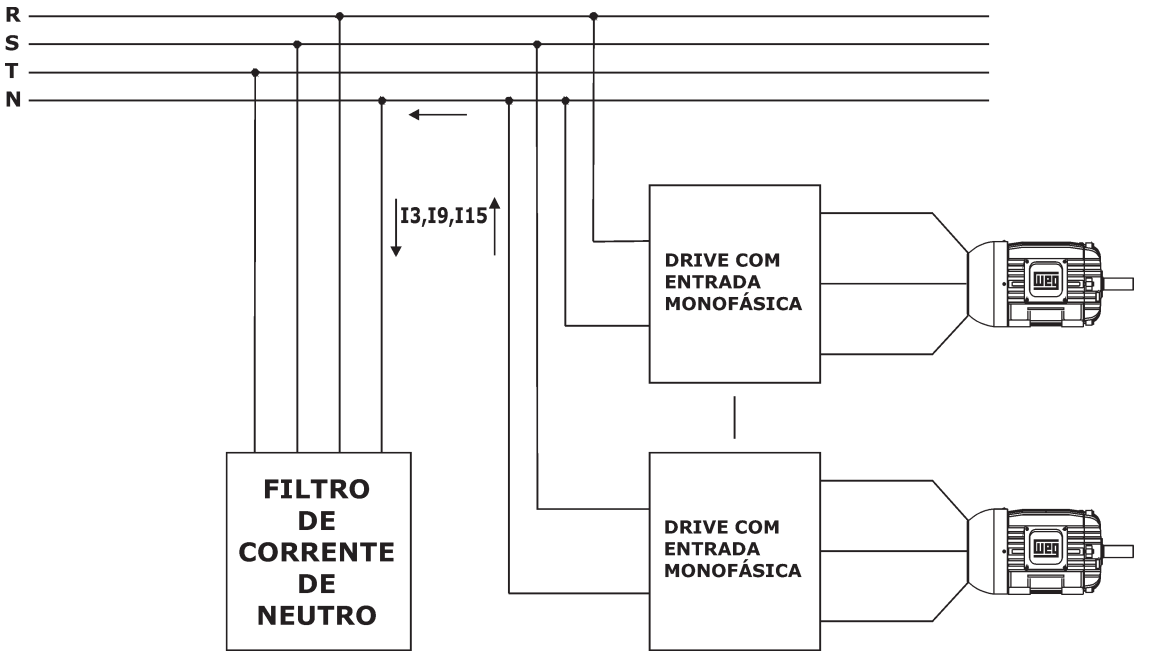


Figura 10 - Aplicação típica de um filtro de corrente de neutro

4.9 TRANSFORMADORES DEFASADORES

Os transformadores defasadores são úteis na redução de harmônicas em instalações onde existem pelo menos dois inversores de freqüência com entrada trifásica. Através do deslocamento de fase das tensões nas saídas destes transformadores é possível o cancelamento de harmônicas na entrada destes.

Na figura 11 podemos observar um exemplo de aplicação de um transformador defasador que possui dois secundários com defasamentos de 0 e 30° em relação a tensão de entrada. Neste caso, se os dois inversores forem da mesma potência, acionarem motores iguais, i. e., motores de mesma potência e com a mesma carga no eixo, consegue-se o cancelamento da 5ª e da 7ª harmônica gerada por estes dois inversores no primário do transformador. Obviamente, caso os inversores não apresentem correntes de entrada idênticas não haverá um cancelamento total destas harmônicas. O transformador deverá ser projetado de tal forma a apresentar uma impedância semelhante entre os seus enrolamentos secudários. Com este arranjo consegue-se um desempenho, do

ponto de vista da corrente consumida da rede pelos dois inversores, idêntico a de um inversor de freqüência com retificador de 12 pulsos.

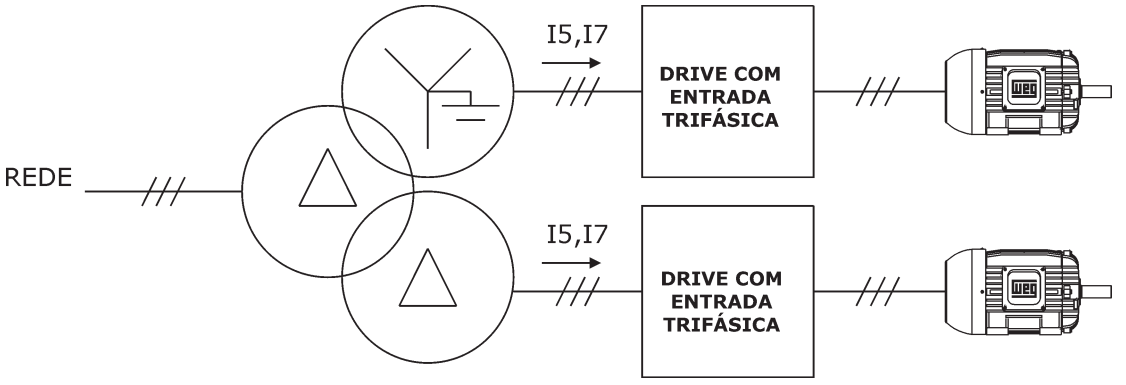


Figura 11 - Transformador defasador com secundários Y/Δ

5. CONCLUSÃO

Com o uso cada vez maior de inversores de freqüência, existe a necessidade de medidas preventivas para a melhoria do fator de potência e para a redução da distorção harmônica das correntes no sistema elétrico. Como a maioria dos inversores de freqüência possui no circuito de entrada uma ponte de diodos, no qual o atraso da fundamental da corrente de entrada em relação a tensão de rede é muito pequeno, a melhoria do fator de potência pode ser obtida com a redução das harmônicas de corrente. Para isto, foram apresentadas diversas alternativas que vão desde a introdução de uma reatância na entrada até a sofisticada inclusão de filtros ativos e/ou retificadores transistorizados. A adoção de uma ou de outra destas técnicas deve ser analisada levando-se em conta os seguintes aspectos: impacto na qualidade de energia causado pelo inversor de freqüência na instalação elétrica na qual o mesmo será conectado, simplicidade, custo e eficiência energética.

Anexo III

CHECK-LIST PARA DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO

CHECK-LIST PARA DETALHAMENTO DA APLICAÇÃO

Folha de Dados para Dimensionamento - Inversor de Freqüência

Dados Gerais

Empresa:	Tel.:
Cidade / Estado:	Fax:
Pessoa de Contato:	E-mail:
Aplicação / Carga:	

Dados da Aplicação

MOTOR	Potência Nominal: CV	Nº de Pólos / Rotação Nominal: [ ] 2 Pólos (3600 rpm) [ ] 4 Pólos (1800 rpm) [ ] 6 Pólos (1200 rpm) [ ] 8 Pólos (900 rpm) [ ] ..... Pólos (..... rpm)	Tensão e Corrente de Placa: [ ] 220 V ⇒ .....A [ ] 380 V ⇒ .....A [ ] 440 V ⇒ .....A [ ] ..... V ⇒ .....A
	Fator de Serviço: F.S. = ... É utilizado? [ ] Não [ ] Sim	Faixa de Rotação desejada: De ..... a ..... rpm	Número de Partida por hora: ..... Partidas / Hora
CARGA	Tipo de Carga: [ ] Torque Constante [ ] Torque Quadrático [ ] Torque Indefinido (especificar nas Obs.)	Relação de Redução entre o Eixo do Motor e a Carga: Relação ⇒ 1: ..... Rotação no Motor: ..... rpm Rotação na Carga: ..... rpm	Sobrecarga na Partida ou em Regime é Maior que 150%? [ ] Não [ ] Sim ⇒ ..... %
	Tipo de Parada (Frenagem) Necessária: [ ] Parada por Inércia (por Desligamento do Motor e Inversor) [ ] Parada Suave por Rampa de Desaceleração ⇒ (Tempo Desejado de ..... segundos) [ ] Parada Rápida por Frenagem Elétrica ⇒ (Tempo Desejado de ..... segundos)		
INSTALAÇÃO	Rede de Alimentação [ ] 220 V [ ] 380 V [ ] 50 Hz [ ] 440 V [ ] 60 Hz [ ] V	Condições do Ambiente para Instalação: Altitude: [ ] Até 1000m [ ] ..... m Atmosfera: [ ] Normal [ ] Agressiva (especificar nas Obs.) Temperatura: [ ] Até 40 ºC [ ] ..... ºC	
	Grau de Proteção Necessário: [ ] IP 00 (aberto sem proteção) [ ] IP 20 (proteção contra toques) [ ] IP 54 (fechado - montado em painel [ ] Ao Tempo (painel especial para chuva) [ ] ..... (especificar nas Obs.)	Método de Comando: [ ] Botões Liga e Desliga + Potenciômetro [ ] Interface Homem-Máquina do Inversor [ ] Entrada Analógica (CLP ou SDCD) Distância entre o Motor e o Inversor: Comprimento do Cabo ⇒ .....m	

Características Desejadas no Inversor

Método de Controle: [ ] Escalar (U / F) [ ] Vetorial Sensorless [ ] Vetorial com Encoder	Acessórios Opcionais:	
	Internos ao Inversor	Periféricos ao Inversor
Funções Especiais: [ ] Multi-speed (até 8 velocidades) [ ] Ciclo Automático do Processo [ ] Regulador PID [ ]	Cartões Expansão de Funções: [ ] ..... [ ] ..... [ ] ..... [ ] ..... [ ] ..... [ ] ..... Cartões para Redes FieldBus: [ ] Profibus DP [ ] DeviceNet [ ] ModBus RTU	[ ] Moldura para HMI Remota [ ] Cabo para HMI .....m [ ] Potenciômetro 1 Volta [ ] Potenciômetro 10 Voltas [ ] Reatância de Rede [ ] Reatância de Carga [ ] Fusíveis Ultra-Rápidos [ ] Resistor de Frenagem [ ] ..... [ ] .....
Software de Progração do Inversor por Microcomputador PC: [ ] Software SUPERDRIVE	Interface Serial: [ ] RS 232 [ ] RS 485	

Observações:

Caso seja necessário fornecer mais informações específicas, favor enviar em anexo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IEEE Recommended Practices and requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, IEEE Standard 519, 1992
- BS EN 61800-3: 1997 Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems Part 3. EMC Product Standard Including Specific Test Methods
- S. Bhattacharya, T. M. Frank, D. M. Divan and B. Banerjee, "Active Filter System Implementation", IEEE Industry Application Magazine, September/October 1996, pp. 47-63
- Fang Zheng Peng, "Application Issues of Active Power Filters", IEEE Industry Application Magazine, September/October 1996, pp 21-30
- R. Bredtmann, R. Hanitsch and J. Schiele, "Megawatt Asynchronous Drive With 12-Pulse Rectifier and Active Power Line Condictioner
- Ron Peters, "IEEE 519 Current Distortion Limits", Drivesmag On-Line Magazine
- Ron Peters, "IEEE 519 Voltage Distortion Limits", Drivesmag On-Line Magazine
- Ron Peters, "Drives, impedance and Harmonic Caracteristics", Drivesmag On-Line Magazine
- Nicholas D. Hayes, "Understanding Your Options with Passive Harmonic Filters in a Three-Phase System with Drives", Drivesmag On-Line Magazine
- Nicholas D. Hayes, "A Crash course on Drives Power Topologies", Drivesmag On-Line Magazine
- Roger Critchley, "Harmonics: Existing and Forthcoming Standards and the Impact For Drives", Desing Products & Applications, Drives Supplement, February, 1992, pp 42-47
- Mahesh M. Swamy, "Harmonic Reduction Using Broad-Band Harmonic Filters", MTE Corporation
- Mahesh M. Swamy, "Harmonic Interaction Between 1500-kVA Supply Transformer and VFD Load at an Industrial Plant, IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 34, No. 5, September-October 1998
- "Active Filter Technology for True Harmonic Current Cancellation", Aims Technologies Europe, Product Catalogue
- "Drive Applied Harmonic Filters", Trans-Coil Inc., Product Catalogue

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “RRW-01 Retificador Regenerativo”, Weg Automação Ltda., Manual do Produto
- Manual de Motores de Indução alimentados por Inversores de Freqüência, editado pela Weg
- Manual de Motores Elétricos, editado pela Weg
- Manual do Inversor de Freqüência CFW-05, editado pela Weg
- Manual do Inversor de Freqüência CFW-06, editado pela Weg
- Manual do Inversor de Freqüência CFW-07, editado pela Weg
- Critérios para Compatibilidade Eletromagnética - EMC, editado pela Weg
- Conservação de Energia Elétrica, editado pela Weg
- Application Manual - EMC, editado pela Eurothem Drives
- Hitachi Converters - Technical Drives Guide Book, editado pela Hitachi, Ltd.
- Variable Speed Drive Fundamentals, de Clarence A. Phipps, editado pela Hardcover
- Apostila do curso DT2 - Inversores de Freqüência / Programa de Divulgação Tecnológica, editado pela Weg
- Seleção e aplicação de motores elétricos 1, de Orlando S. Lobosco, editado pela Marcombo Boixareu Editores
- Seleção e aplicação de motores elétricos 2, de Orlando S. Lobosco, editado pela Marcombo Boixareu Editores
- Motores Electricos, de Jim Cox, editado pela GG Mexico
- Motores Electricos Accionamento de Maquinas, de Jose Roldan Viloria

COMENTÁRIOS
COMENTÁRIOS
COMENTÁRIOS
COMENTÁRIOS
COMENTÁRIOS

Favor dirigir quaisquer comentários, críticas ou sugestões sobre esta publicação para:

WEG AUTOMAÇÃO
Seção de Marketing

Tel. (47) 3372-4672
Fax (47) 3372-4424
e-mail: wau@weg.com.br

WEG AUTOMAÇÃO
Av. Prefeito Waldemar Grubba, 3000
89256-900 - Jaraguá do Sul - SC
Fone (47) 3372-4000 - Fax (47) 3372-4020
e-mail: wau@weg.com.br
www.weg.com.br

Mod. 899.06/12.2005