



MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

LEONARDO PERPÉTUO DA SILVA

INVERSOR DE FREQUÊNCIA

RIO DE JANEIRO - RJ

2011

LEONARDO PERPÉTUO DA SILVA

INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do título de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas.

RIO DE JANEIRO - RJ

2011

Monografia entregue em ___ / ___ / 2011, na conclusão do Programa de Pós-Graduação do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, para obtenção do título de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas.

Orientador: Pedagoga Karla Bastos

Examinador: Professor Osvaldo Pinheiro Souza e Silva

Média final: _____

AGRADECIMENTO

Agradeço à Deus e em especial à minha família, por estarem nesta caminhada ao meu lado.

As qualidades de informações por mim mostradas devem-se às ricas informações que adquiri com o Sr. Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva.

Agradecimento especial a ele, por empenhar-me na busca do conhecimento, tornando-se meu maior exemplo.

``Quando vou a um país, não pergunto se esse país tem boas leis ou más leis, pois boas e más leis todos os países têm, mas se ele faz cumprir as leis que tem``

Montesquieu - século XVIII

Resumo

Os conversores de frequência, conhecidos também como inversores de frequência, são dispositivos eletrônicos destinados a converter a tensão da rede alternada senoidal, em tensão contínua e finalmente convertem esta última, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis.

Eles são usados a bordo de navios em motores elétricos de indução trifásicos para substituir os sistemas de variação de velocidades mecânicos, tais como polias e variadores hidráulicos, bem como os custosos motores de corrente contínua pelo conjunto motor assíncrono e inversor, mais barato, de manutenção mais simples e reposição mais simples por existir no mercado grande variedade de opções e profusa oferta de componentes.

Os conversores de frequência costumam atuar também como dispositivos de proteção para os mais variados problemas de rede elétrica que se pode ocorrer, como desbalanceamento entre fases, sobrecarga, queda de tensão, etc. Os conversores de frequência de última geração, não somente controlam a velocidade do eixo de motores elétricos trifásicos de corrente alternada, como também, controlam outros parâmetros inerentes ao motor elétrico, sendo que um deles, é o controle de Torque.

Os conversores de frequência tornaram-se dispositivos de controle imprescindíveis a bordo em várias funções como segurança, controle de rotação de eletroventiladores, bombas etc.

Palavras_Chave: manutenção, segurança, conversores de frequência, inversores de frequência.

Summary

Frequency converters, also known as frequency inverters are electronic devices designed to convert line voltage alternating sinusoidal voltage in the latter and finally converted in a voltage amplitude and frequency variables. They are used on ships in three-phase induction electric motors to replace the systems of mechanical speed variation, such as pulleys and hydraulic drives, as well as the expensive DC motors by all asynchronous motor and inverter, cheaper maintenance simpler and simpler replacement for existing market variety of options and profuse supply of components.

The frequency converters also often also act as protection devices for various electrical network problems that can occur, such as imbalance between phases, overload, voltage drop... The frequency inverters of the latest generation not only control the spindle speed of electric motors three phase alternating current, but also control other parameters inherent to the electric motor, one of which is the control torque.

The frequency converters have become indispensable control devices on board in various functions such as security, speed control of electronic pumps etc.

Key words: maintenance, safety, frequency converters, frequency inverters.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	12
1.1 Descrição	12
1.2 Elementos constituintes de um acionamento	13
1.2.1 Retificador de entrada	16
1.2.2 Retificador não controlado a diodo	17
1.2.3 Retificador controlado	18
1.2.4 Elo CC	20
1.2.5 Inversor	21
2 MOTORES ELÉTRICOS	23
2.1 Descrição	23
2.2 Motor de corrente continua	23
2.3 Motor de corrente alternada	23
2.4 Classificação quanto a partida	24
2.5 Tipos de circuitos	24
2.6 Componentes das chaves de partida	25
2.7 Componentes do motor de indução	25
2.8 Funcionamento do motor assíncrono	26
2.8.1 Exposição teórica	26
2.9 Motores de indução monofásicos	28
2.10 Motores trifásicos	29
2.11 Gaiola de esquilo	30
2.12 Princípio de funcionamento do campo girante	31
2.13 Unidades conjugadas ou motor Drive	33
2.13.1 Aplicações	34
2.13.2 Vantagens das unidades conjugadas ou motor drive	34
3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO	35
3.1 Fusíveis	35
3.2 Relés bimetálicos de sobrecarga	36
CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

Introdução

Os **conversores de frequência**, também conhecidos por **inversores de frequência**, são dispositivos eletrônicos que convertem a tensão de uma rede alternada senoidal, em tensão contínua e finalmente convertem esta última, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis.

A denominação Inversor ou Conversor é muito controversa, sendo que alguns fabricantes utilizam Inversor e outros Conversor. Inerentemente ao projeto básico de um Conversor de Frequência, teremos na entrada o bloco retificador, o circuito intermediário composto de um banco de capacitores eletrolíticos e circuitos de filtragem de alta frequência e finalmente o bloco inversor, ou seja, o inversor na verdade é um bloco composto de transistores IGBT, dentro do conversor. Na indústria entretanto, ambos os termos são imediatamente reconhecidos, fazendo alusão ao equipamento eletrônico de potência que controla a velocidade ou torque de motores elétricos.

Eles são usados em motores elétricos de indução trifásicos para substituir os rústicos e pesados sistemas de variação de velocidades mecânicos, tais como polias, inversores de velocidade e variadores hidráulicos, bem como os custosos motores de corrente contínua e que exigem manutenção periódica (seja preventiva ou preditiva, com elevado grau de controle) pelo conjunto motor assíncrono e inversor, mais barato, de manutenção mais simples e reposição profusa.

Os conversores de frequência podem atuar como dispositivos de proteção para os mais variados problemas de rede elétrica que se pode ocorrer, como desbalanceamento entre fases, sobrecarga, queda de tensão, etc.

Normalmente, em unidades embarcadas em navios, os conversores são montados em painéis elétricos, sendo um dispositivo utilizado em larga escala na automação industrial. Podem trabalhar em interfaces com computadores, centrais de comando, e conduzir, simultaneamente, dezenas de motores, dependendo do porte e tecnologia do dispositivo. Nos últimos anos o avanço da tecnologia tornou possível incorporar Inversores de Frequência aos motores de indução inversores de frequência formando desta forma unidades integradas, compactas. Recomendado

para aplicação em espaços pequenos, onde se necessita variação de velocidade com fácil instalação, ou em situações que exijam mobilidade.

Os conversores costumam ser dimensionados normalmente, pela corrente do motor. O dimensionamento pela potência do motor também pode ser feita, no entanto, a corrente é a principal grandeza elétrica limitante no dimensionamento. Importante também notar outros aspectos da aplicação, durante o dimensionamento, como por exemplo, demanda de torque (constante ou quadrático), precisão de controle, a necessidade de partidas e frenagens bruscas ou em intervalos curtos ou muito longos, regime de trabalho, e outros aspectos particulares pertinentes de cada aplicação a que o sistema está destinado. Quando o acionamento elétrico não exige variação da velocidade do motor, querendo-se apenas uma partida *mais suave*, de forma que limite-se a corrente de partida evitando assim quedas de tensão da rede de alimentação, costuma-se utilizar soft-starters.

Os conversores de frequência tem uma vasta aplicação na indústria de máquinas e processos em geral bem como no controle de processos e operações característicos das operações embarcadas. Com a capacidade inerente de variar a velocidade de motores elétricos trifásicos de Corrente Alternada, permitem a aos projetistas, desenvolver máquinas que sem os mesmos, seriam praticamente impossíveis de serem fabricadas.

Os conversores de frequência de última geração, não somente controlam a velocidade do eixo de motores elétricos trifásicos de corrente alternada, como também, controlam outros parâmetros inerentes ao motor elétrico, sendo que um deles, é o controle de Torque.

Com o advento da informática, através da funcionalidade que os microprocessadores trouxeram ao varios setores eletro-eletronicos, os conversores de frequência hoje são dotados de poderosas CPUs ou placas de controle microprocessadas, que possibilitam uma variedade grande de métodos de controle, ampliando e flexibilizando o uso dos mesmos. Assim, cada fabricante consegue implementar sua própria estratégia de controle, de modo a obter domínio total sobre o comportamento do eixo do motor elétrico, permitindo em muitos casos que motores elétricos trifásicos de corrente alternada, substituïrem servo motores em muitas aplicações.

Modernas técnicas de chaveamento da forma de onda de tensão e também da frequência aplicada sobre o estator do motor elétrico, permitem o controle com excelente precisão, sobre o eixo do motor. Uma das técnicas mais conhecidas é o PWM ou "Pulse Width Modulation". Tais técnicas são sempre aliadas ao modelamento matemático preciso do motor elétrico. Os conversores de última geração, fazem medições precisas e estimativas dos parâmetros elétricos do motor, de modo a obter os dados necessários para o modelamento e consequente controle preciso do motor.

Muitos conversores hoje, são dotados de opcionais que permitem implementar técnicas de controle de movimento, manipulação de vários eixos de acionamento, Posicionamento e Sincronismo de Velocidade ou Sincronismo de Posição.

Os Conversores de Frequência, por serem dispositivos dotados comumente de uma ponte retificadora trifásica a diodos, ou seja, trata-se de cargas não lineares, geram harmônicas. Os fabricantes de conversores de frequência disponibilizam filtros de harmônicas, alguns já integrados ao produto, outros opcionais. Existem várias técnicas para filtragem de harmônicas, que vão desde as mais simples e menos custosas, como indutores na barra DC ou indutores nas entradas do conversor, antes da ponte retificadora, passando pelos retificadores de 12 ou 18 diodos ou pulsos, utilizando transformadores defasadores até chegar aos filtros ativos ou retificadores a IGBT, para diminuição ou até mesmo eliminação das harmônicas tanto de corrente quanto de tensão elétrica.

Os benefícios são diversos, como redução no custo de desenvolvimento, custo dos sistemas de acionamento, custo de manutenção. E nos casos da operação marítima, o elevado grau de autonomia e simplicidade no monitoramento, o que constitui uma grande vantagem devido ao reduzido número de operadores a bordo, isoladamente o inversor de frequência contribui muito para que se cheguemos à praça de máquinas desguarnecida.

1- Inversores de Frequência

1.1 Descrição

É interessante ressaltar em nosso estudo que os conversores de frequência são equipamentos que possuem duas unidades distintas: uma parte retificadora e outra inversora, ligadas entre si por um elo de tensão ou corrente contínua chamado “Elo CC” (do termo em inglês *Link DC*). E é exatamente por uma das partes desse tipo de acionamento ser um inversor, que ao passar dos anos, Inversor de Frequência acabou sendo o nome pelo qual se chamava esse tipo de acionamento. Portanto a terminologia do equipamento relatada nesse trabalho será a de Inversor de Frequência, e lembrando que ao se falar do inversor (contido dentro do próprio acionamento de frequência ajustável), este estará descrito como “estágio inversor”.

Nos últimos anos, constantes desenvolvimentos nas tecnologias dos microprocessadores e semicondutores possibilitaram uma rápida melhoria dos inversores, além da grande redução dos preços, que proporcionou que este equipamento se tornasse cada vez mais comum no mercado. Apesar de todas essas mudanças desde seu surgimento, o princípio básico de funcionamento dos inversores de frequência permaneceu o mesmo. O inversor de frequência, em curtas palavras, é um equipamento capaz, por exemplo, de variar a velocidade de um motor. Em muitos processos industriais e unidades de processos como a condução de praças de máquinas em navios, existe a necessidade de se ter um controle da velocidade de algum determinado equipamento para que se tenha, no final, um produto com maior qualidade, sendo assim, alguns processos teriam alguma economia de energia consumida, pois suas máquinas trabalhariam apenas de acordo com o que fosse requerido pelo sistema.

Os inversores também podem ser usados para suavizar a partida de motores elétricos. Neste caso podem-se substituir sistemas de partidas como reostato líquido, *soft-starters*, chaves estrela-triângulo e compensadoras, porém esses tipos de acionamento só proporcionam um controle de corrente na partida, e não durante todo o funcionamento do motor, fato que, em geral, justifica o uso de um acionador de frequência ajustável. A razão dessa necessidade de se reduzir a corrente de partida de um motor, é que devido às elevadas correntes de partida, a rede elétrica em que o motor se encontra sofre grandes variações de tensão acarretando danos e desgastes nos demais equipamentos ligados a essa rede.

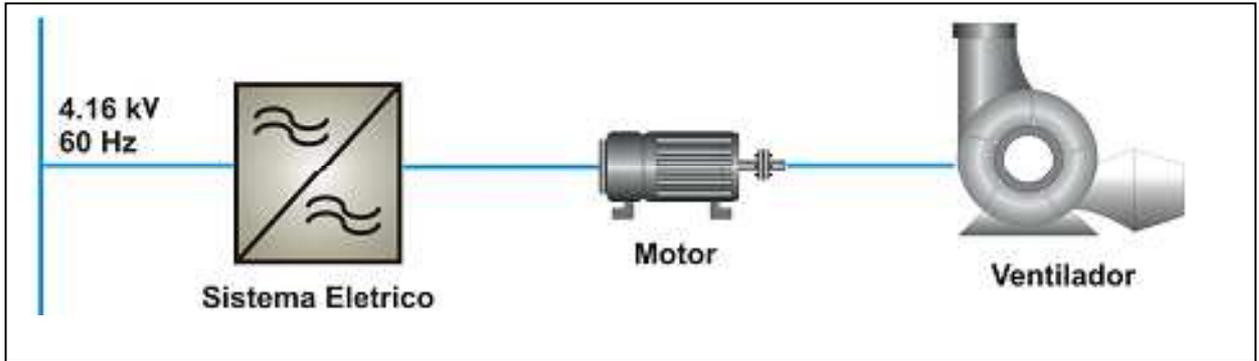


Figura 1.1 – Posicionamento do inversor no sistema de acionamento

1.2 Elementos constituintes de um acionamento

A localização do Inversor de Freqüência no circuito (Figura 1.1) fica entre a rede elétrica de entrada, que possui tensão e freqüência fixas, e o motor que aciona o equipamento. Este receberá do inversor uma tensão e uma freqüência que poderão ser ajustáveis, proporcionando assim o controle de sua velocidade. O desenvolvimento deste trabalho estará voltado para níveis de média tensão, no caso, exceto quando citado, trata-se de um sistema trifásico com uma tensão da rede elétrica de 4160 volts, e uma freqüência de 60 Hertz.

O funcionamento é bastante simples do ponto de vista geral. Porém vale mostrar aqui o conceito básico de como se controla a velocidade de um motor de indução de corrente alternada. De acordo com as equações:

$$N_s = 120 f / p \quad (1-1)$$

$$s = N_s - N_m / N_s, \text{ onde } N_m = (1 - s) \times N_s \quad (1-2)$$

Onde:

N_m = velocidade de rotação do motor em r.p.m. (rotações por minuto).

N_s = velocidade de rotação síncrona em r.p.m. (rotações por minuto).

s = fator de escorregamento.

f = frequência da rede elétrica em Hertz (geralmente 60 Hz).

p = número de pólos do motor (2, 4, 6, e assim por diante).

Toda máquina de indução, para seu funcionamento, deve possuir uma diferença entre as velocidades do campo magnético do estator e do seu rotor, ou seja, um escorregamento. Caso não haja esse escorregamento não haverá nenhuma força eletromotriz induzida no rotor, pois o fluxo de corrente neste seria zero. Através da expressão 1.1 pode-se calcular a **velocidade síncrona** de um motor de corrente alternada. No caso do motor de indução, essa velocidade significa a velocidade do campo magnético do estator. Então passa-se à expressão 1.2, que com o valor do escorregamento (que vem nos dados do motor) calcula a **velocidade do eixo**.

Como a velocidade do motor está diretamente relacionada com a velocidade síncrona (N_s), é preciso variar a frequência, que é diretamente proporcional à N_s . É exatamente a frequência f que o inversor mudará, fazendo com que a velocidade do motor varie.

Já a variação da tensão na saída do inversor está relacionada com o fluxo magnético do motor. De acordo com as equações seguintes pode-se notar que a frequência é diretamente proporcional à potência, que por sua vez é diretamente proporcional à corrente do motor. Como, na maioria das vezes, o objetivo é manter o torque constante, é preciso que a tensão também seja ajustada para se conseguir tais resultados [3]:

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

(1-3)

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

(1-4)

Como:

$$P = T \times \omega \rightarrow (\omega = 2\pi \cdot f)$$

Logo:

$$T = k \times \phi \times I_r \times \cos\phi$$

(1-5)

Onde:

P = Potência.

V = Tensão.

I_r = Corrente do rotor.

T = Torque no eixo.

Φ = Fluxo magnético.

ϕ = Ângulo de defasamento.

KT = Constante de torque.

ω = Velocidade angular.

Tendo em vista funcionamento como um todo de um inversor de frequência, é mostrado a seguir (Figura 1.2), sua estrutura física e tecnológica. Basicamente os inversores consistem de três estágios: um retificador de entrada para converter a

tensão de corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), um Elo CC para armazenar e filtrar o nível de tensão ou corrente contínua retificada, e um inversor na saída para converter a forma de onda contínua em alternada novamente, porém com níveis de tensão e frequência ajustáveis.

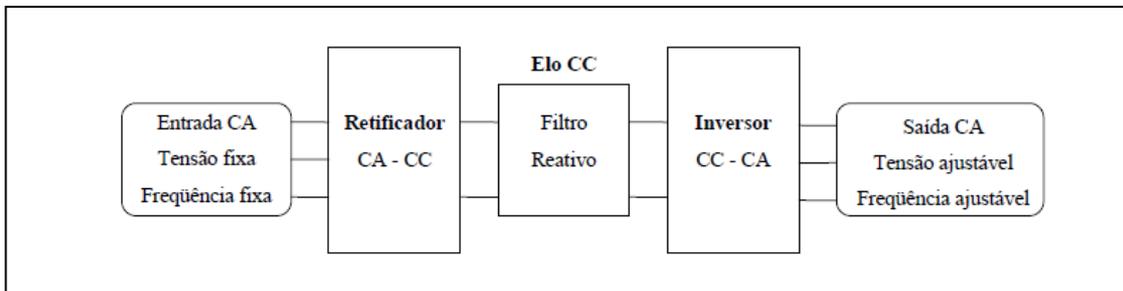


Figura 1.2 – Funcionamento básico de um inversor de frequência

1.2.1 Retificador de entrada

A tensão de entrada pode ser fornecida como uma tensão de corrente alternada (CA) trifásica ou monofásica, que podem ser ilustradas como:

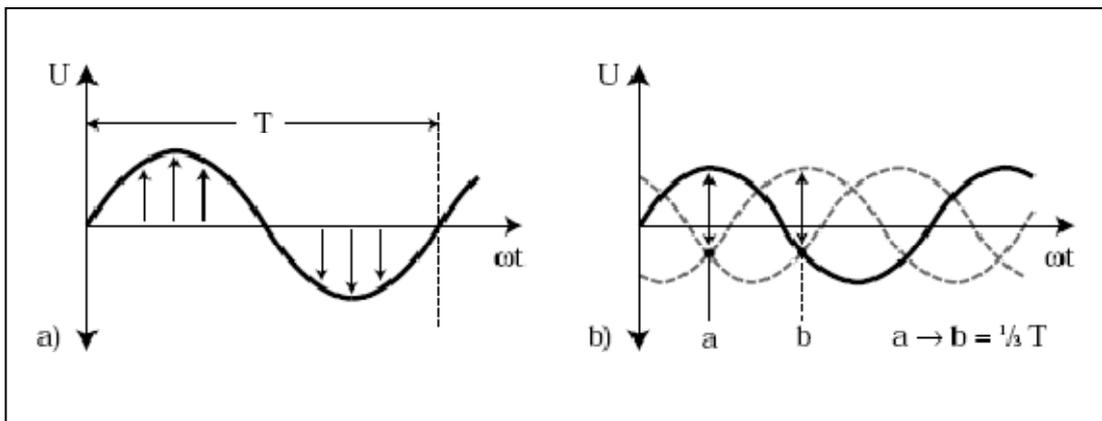


Figura 1.3 – a) Tensão CA monofásica; b) Tensão CA trifásica.

Conforme se pode ver na figura 1.3, a tensão está constantemente mudando de sentido, oscilando senoidalmente entre valores positivos e negativos durante um determinado intervalo de tempo. O tempo que se gasta para completar um ciclo se chama período, e a quantidade de períodos contidos em um segundo é a frequência, que no caso da rede elétrica no Brasil é de 60 Hertz, ou seja, sessenta períodos por segundo. E em relação à tensão com três fases (trifásica), temos ainda um certo

atraso (deslocamento) de uma fase para outra, que é de 120° , este atraso equivale a um terço do período da onda.

A função do retificador é transformar essa onda oscilatória em uma onda praticamente lisa. Existem dois tipos de retificadores, os não-controlados que são compostos por diodos, e os controlados que são compostos por tiristores.

1.2.2 Retificador não controlado a diodo

Diodos são componentes que permitem o fluxo de corrente em apenas um sentido: do seu anodo (A) para seu catodo (K):

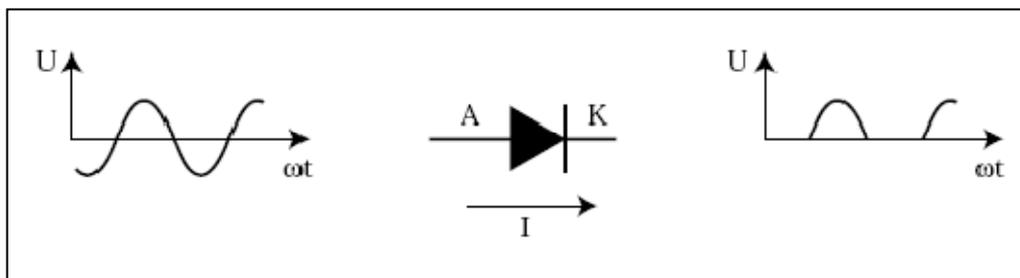


Figura 1.4 – Modo de operação de um diodo

Após a onda passar pelo diodo, a tensão CA (corrente alternada) é retificada e passa a ser uma tensão CC (corrente contínua) pulsante, como mostra a figura 1.4, portanto os pulsos da tensão retificada terão a mesma forma de onda da tensão de entrada, porém apenas com a parte positiva. Com outros tipos de semicondutores é possível ter um controle de amplitude da tensão retificada, mas no caso dos diodos, ela resulta em pulsos com amplitudes iguais às da onda de entrada.

A ponte retificadora usada no estágio retificador dos inversores de frequência deve conter diodos dispostos de tal forma que se obtenha uma onda de saída com pulsos positivos e negativos de tensão.

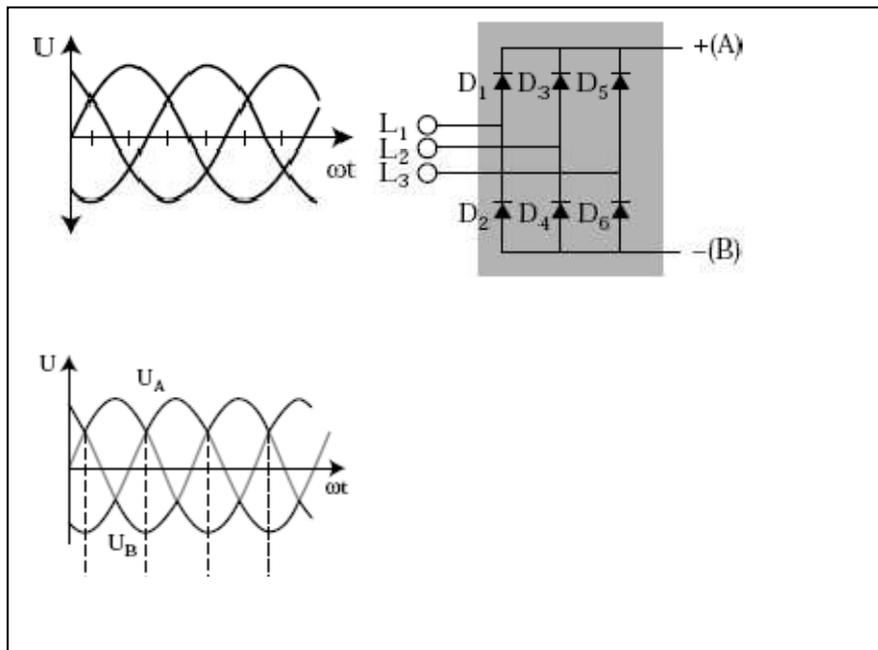


Figura 1.5 – Retificador não-controlado a diodos (tensões UA e UB referentes ao ponto neutro)

Na figura 1.5 é mostrado como o retificador elimina as oscilações da onda de entrada deixando apenas passar os picos das ondas da tensão trifásica. UA é o resultado da retificação feita pelos diodos D1,3,5, que resulta na retificação da tensão aplicada quando esta se encontra no seu semi-ciclo positivo. UB é o resultado da retificação feita pelos diodos D2,4,6, que resulta na retificação da tensão aplicada quando esta se encontra no seu semi-ciclo negativo. Sendo assim este tipo de retificador fornece dois barramentos CC (A e B) onde se encontram tensões de mesmo módulo, porém uma tensão positiva e outra negativa em relação ao ponto neutro comum [1].

1.2.3 Retificador controlado

Nos retificadores controlados os tiristores são usados no lugar dos diodos, e possuem características semelhantes, pois também só permitem o fluxo de corrente em um sentido (ânodo para cátodo). No entanto, os tiristores possuem um terceiro terminal chamado “Gate” (G). O Gate controla o tiristor através de um sinal, que,

depois de recebido, o tiristor é liberado para que a corrente possa fluir até que se torne negativa novamente, quando o tiristor para de conduzir.

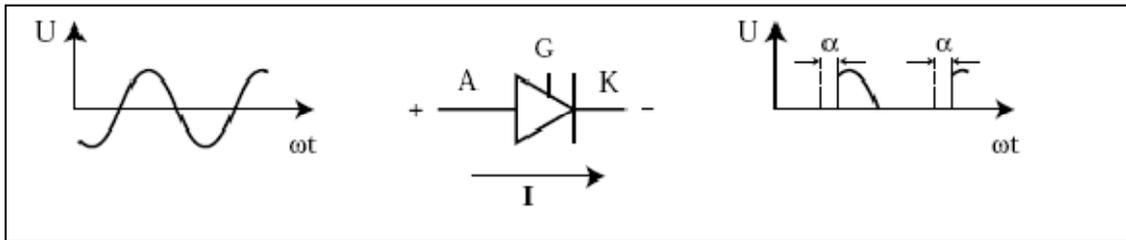


Figura 1.6 – Modo de operação do tiristor

Como se pode ver na figura 1.6, o sinal recebido pelo Gate, é o sinal de controle α que é graduado em graus. O valor de α indica o atraso entre a passagem da onda de tensão pelo zero e o começo da condução do tiristor.

A partir de então o tiristor funcionará como um diodo. Da mesma forma que os diodos, os tiristores fazem com que a onda senoidal de entrada seja retificada em pulsos contínuos tanto na parte positiva (U_A) como na negativa (U_B), ambos em relação ao ponto neutro comum, a única diferença é que através do ângulo α pode-se determinar a amplitude dessas ondas retificadas. Com isso o valor da tensão CC na saída do retificador possui um valor que pode variar a tensão de acordo com o ângulo α , assumindo desde zero até valores da tensão de entrada.

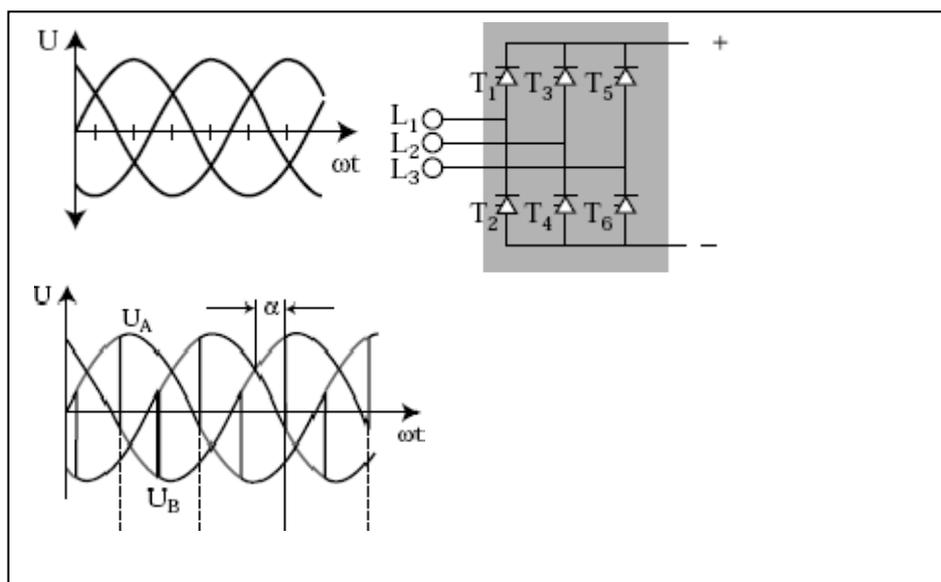


Figura 1.7 – Retificador controlado a tiristor (tensões U_A e U_B referentes ao ponto neutro)

Uma característica interessante dessa ponte retificadora é que ela pode tanto ser usada como retificador quanto como inversor, para isso basta se ter o controle do ângulo α , por exemplo, no caso do ângulo ser estabelecido no valor entre 0° e 90° o arranjo dos tiristores é usado como retificador, e se for entre 90° e 180° é usado como inversor [1]. Fazendo uma ligeira comparação entre os dois tipos de retificadores, o controlado causa maiores perdas e distúrbios na rede elétrica de entrada, pois, se o tiristor é controlado para que seu período de condução seja bastante reduzido, o retificador irá drenar valores crescentes de potência reativa. No entanto uma vantagem da retificação controlada é que a energia pode ser refletida de volta para a rede, por exemplo, permitindo a devolução da energia de frenagem de um acionamento, contribuindo-se assim para uma melhoria do rendimento do sistema.

1.2.4 Elo CC

Depois de ser retificada a tensão de entrada são necessários filtros devido ao efeito da retificação não proporcionar uma onda “lisa”, sem variações. Isso é necessário devido à grande precisão que se deve ter na entrada do estágio inversor.

O Elo CC, também chamado de circuito intermediário, pode ser comparado a um armazenador, pois é dele que o motor, através do estágio inversor, retira a energia necessária para seu funcionamento. E isto é possível de acordo com alguns princípios de construção do filtro, e dependendo também do tipo de retificador e estágio inversor usados.

Para inversores de corrente imposta, onde é usado o retificador controlado a tiristor, o Elo CC consiste em um grande indutor (Figura 1.8). Este indutor associado a fonte de tensão ajustável que vem do retificador resulta numa corrente contínua lisa de amplitude ajustável. Nestes casos são as cargas que determinam a tensão que será entregue ao motor.

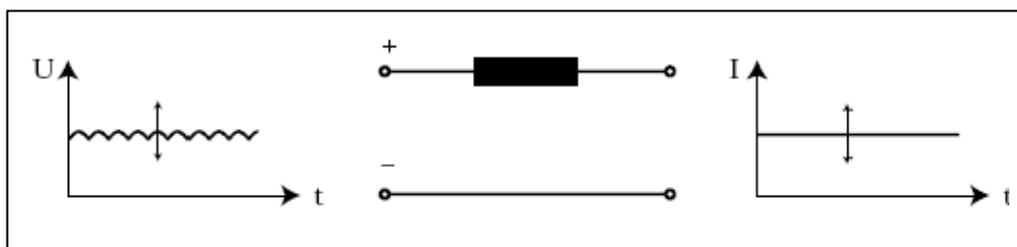


Figura 1.8 – Elo CC de corrente contínua ajustável

Para inversores de tensão imposta, o Elo CC consiste de um capacitor (Figura 1.9). Este filtro pode ser usado para os dois tipos de retificadores. A sua função é a mesma, suavizar a pulsação da tensão CC (U_{Z1}) que vem do retificador.

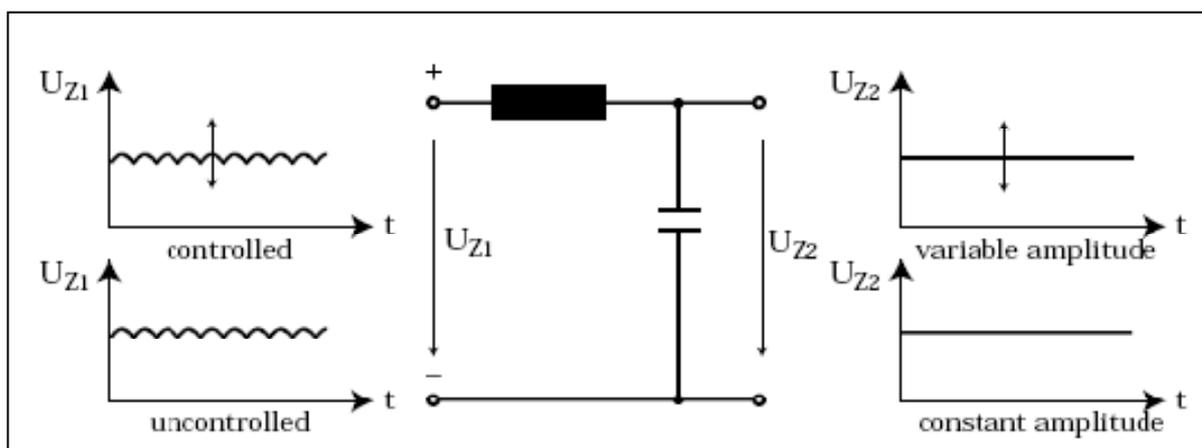


Figura 1.9 – Elo CC de tensão contínua

Na saída de um retificador controlado, a tensão é ondulada e ajustável, mas ao passar pelo filtro, é fornecida ao estágio inversor uma tensão CC perfeita (U_{Z2}) com amplitude ajustável. Já em um retificador não controlado a tensão CC que passa pelo filtro é entregue com amplitude constante [1].

1.2.5 Inversor

Este é o último estágio em um Inversor de Frequência, onde ocorre a elaboração através de chaveamentos dos semicondutores da tensão de saída para o acionamento do motor. Como visto anteriormente, o inversor pode receber do circuito intermediário uma corrente contínua, uma tensão CC ajustável, ou uma tensão CC constante.

Em cada caso, o estágio inversor assegura o fornecimento ao motor de uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Se a corrente ou a tensão forem variáveis, o inversor apenas gera sua frequência, porém, se a tensão do Elo CC for constante, o inversor gera tanto a frequência como a tensão variáveis necessárias para o motor. No princípio de seu surgimento, os inversores eram compostos de tiristores, porém com o avanço da tecnologia estes vêm sendo substituídos por transistores de alta frequência que fazem um chaveamento muito mais rápido.

Dependendo do tipo de semicondutor, a frequência de chaveamento pode chegar até 20 kHz [1].

O Inversor de Frequência caracteriza-se pelo conjunto de todos os seus estágios, porém é no estágio inversor que se encontram as diferentes topologias de como são construídos os diferentes tipos de Inversores. A figura 1.10 mostra um bloco inversor básico. As outras topologias existentes seguem esse mesmo padrão, porém a única diferença está nos diferentes tipos de componentes usados, e também pela quantidade desses blocos que são dispostos em série para se obter o resultado necessário.

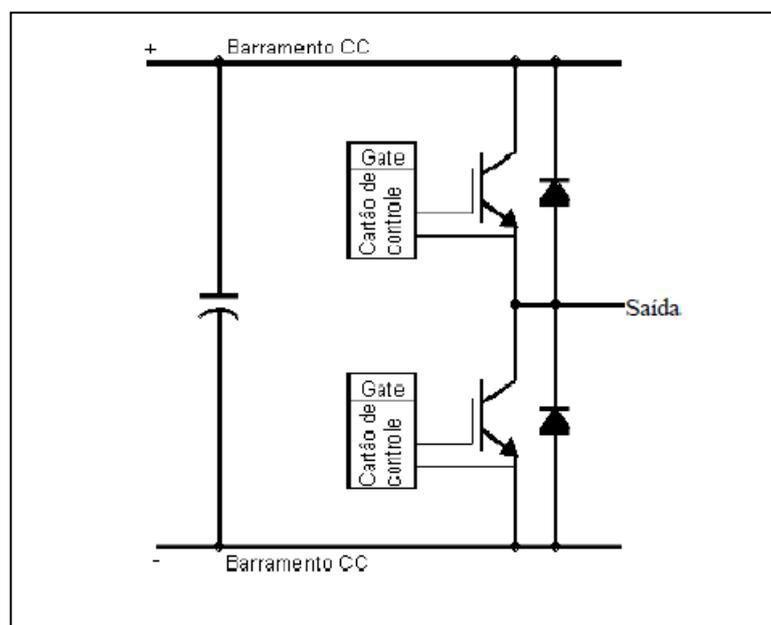


Figura 1.10 – Bloco inversor básico (monofásico)

Nesta figura é mostrada a saída de uma das fases do estágio inversor de dois níveis, onde o diodo em anti-paralelo com o semicondutor é usado para permitir que a corrente possa fluir no sentido contrário (quando necessário), já que os semicondutores usados não permitem uma corrente reversa. No “gate” do semicondutor, um cartão de memória controlado por um microcomputador gera os pulsos que proporcionam o chaveamento que dará origem à forma de onda na saída. Por se tratar de um assunto mais complexo e também por ser o estágio inversor uma das características marcantes em cada tipo de topologia, este trabalho reserva mais adiante, um capítulo (Capítulo 3) apenas sobre os tipos de tecnologias mais usadas para Inversores de Frequência de Média Tensão. Lembrando que o

nível de tensão média está entre 1 kV e 45 kV [2], porém os níveis dos Inversores geralmente chegam apenas nos 7,2kV.

2- MOTORES ELÉTRICOS

2.1 Descrição

O Motor elétrico vem a ser uma máquina que converte a energia elétrica e energia mecânica (movimento rotativo), possui uma constituição simples, reduzido número de peças e custo reduzido, além de ser muito versátil e não poluente. O motor elétrico tornou-se um dos mais notáveis inventos do homem ao longo do desenvolvimento tecnológico um elemento insubstituível. A finalidade básica dos motores é o acionamento de máquinas, equipamentos mecânicos, eletrodomésticos, entre outros, não menos importantes. Seu princípio de funcionamento, construção e métodos de partida, serão conhecidos ao longo deste trabalho.

Motor elétrico é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. O motor de indução é o mais usado de todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica, baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. Os tipos mais comuns de motores elétricos são:

2.2 Motores de Corrente Contínua

São motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação.

2.3 Motores de Corrente Alternada

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são:

Motor síncrono: Funciona com velocidade fixa, utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável.

Motor de indução: Funciona normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

2.4 Classificação quanto aos Métodos de Partida

Os motores são comandados através de chaves de partida, sendo que as mais empregadas são:

- Partida Direta/ Reversora:

 - Acionamento de pequenos motores;

- Partida Estrela Triângulo:

 - Acionamento de grandes motores sem carga;

- Partida Compensadora:

 - Acionamento de grandes motores com carga;

- Partida com Soft-Starter:

 - Acionamento de grandes motores com carga;

- Partida com Inversor de Frequência:

 - Acionamento de pequenos e grandes motores;

2.5 Tipos de Circuitos

Todas as chaves de partida mencionadas anteriormente possuem um circuito principal e um circuito de comando.

O circuito principal ou de força com também é conhecido, é o responsável pela alimentação do motor, ou seja, ele é o responsável pela conexão dos terminas/fios do motor a rede elétrica.

O circuito de comando, como o próprio nome diz é responsável por comandar o circuito de força, determinando quando o motor será ligado ou desligado.

2.6 Componentes das Chaves de Partida

As chaves de partida são compostas pelos seguintes dispositivos:

-Dispositivos de Proteção:

Fusível, Rele Térmico, Disjuntor Motor.

-Dispositivos de Comando:

Botão, Contator, Temporizador.

-Dispositivos de Sinalização:

Sinaleiro, Voltímetro, Amperímetro.

2.7 Constituição do Motor de Indução

O motor assíncrono é constituído basicamente pelos seguintes elementos: um circuito magnético estático, constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si, ao qual se dá o nome de estator; por bobinas localizadas em cavidades abertas no estator e alimentadas pela rede de corrente alternada; por um rotor constituído por um núcleo ferromagnético, também laminado, sobre o qual se encontra um enrolamento ou um conjunto de condutores paralelos, nos quais são induzidas correntes provocadas pela corrente alternada das bobinas do estator.

O rotor é apoiado num veio, que por sua vez transmite à carga a energia mecânica produzida. O entreferro (distância entre o rotor e o estator) é bastante reduzido, de forma a reduzir a corrente em vazio e, portanto as perdas, mas também para aumentar o fator de potência em vazio.

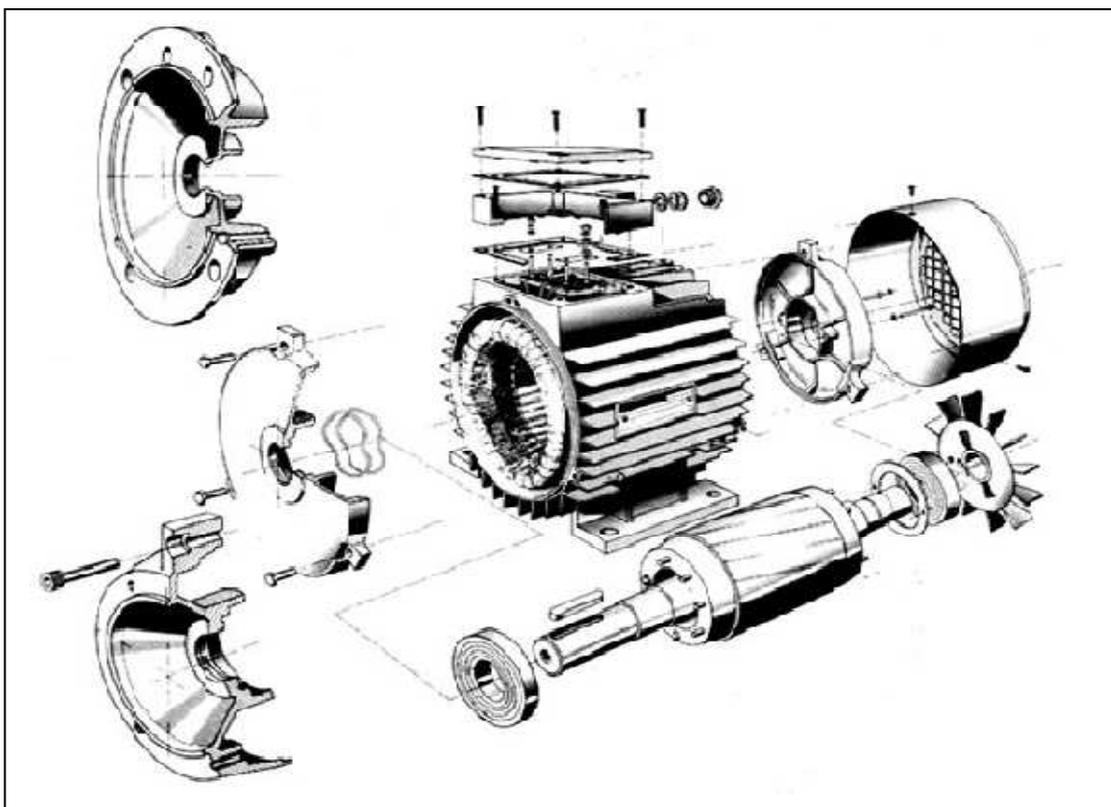


Figura 2.1 Apresentação um motor assíncrono de rotor em gaiola de esquilo em vista explodida mostrando seus diversos elementos.

2.8 Funcionamento de um Motor Assíncrono

A partir do momento que os enrolamentos localizados nas cavidades do estator são sujeitos a uma corrente alternada, gera-se um campo magnético no estator, conseqüentemente, no rotor surge uma força eletromotriz induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. A f.e.m. induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor que tende a opor-se à causa que lhe deu origem, criando assim um movimento giratório no rotor.

Como podemos constatar o princípio de funcionamento do motor de indução baseia-se em duas leis do Eletromagnetismo, a Lei de Lenz e a Lei de Faraday.

Faraday: "Sempre que através da superfície abraçada por um circuito tiver lugar uma variação de fluxo, gera-se nesse circuito uma força eletromotriz induzida. Se o circuito é fechado será percorrido por uma corrente induzida".

Lenz: "O sentido da corrente induzida é tal que esta pelas suas ações magnéticas tende sempre a opor-se à causa que lhe deu origem".

2.8.1 Exposição Teórica

O motor elétrico transforma a potência elétrica fornecida em potência mecânica e uma reduzida percentagem em perdas.

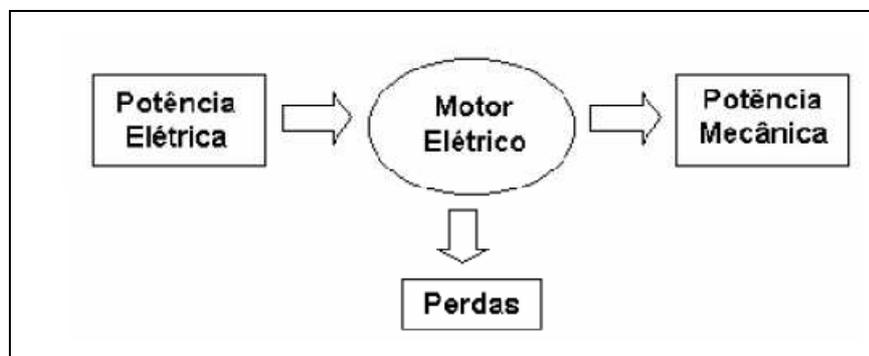


Figura 2.2 Representação de um motor elétrico, suas potências e perdas.

As perdas, que são inerentes ao processo de transformação, são quantificadas através do rendimento (mais à frente analisamos melhor os vários tipos de perdas nos motores).

A Potência Mecânica traduz-se basicamente no torque que o motor gera no eixo do rotor. O torque é consequência direta do efeito originado pela indução magnética do estator em interação com a do rotor.

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{el}} (\%)$$

$$T = K \cdot B_{est} \cdot B_{rot} \cdot \text{sen } \alpha$$

Onde:

η - rendimento

P_{mec} - Potência mecânica

P_{el} - Potência elétrica

T = Torque

K - Constante

B_{est} - Indução magnética criada pelo estator

B_{rot} - Indução magnética criada pelo rotor

α - ângulo entre B_{est} e B_{rot}

A velocidade de um motor de indução é essencialmente determinada pela frequência da energia fornecida ao motor e pelo número de pares de pólos existentes no estator.

No motor assíncrono ou de indução o campo girante roda a velocidade síncrona, como nos motores síncronos. A velocidade do campo girante obtém-se pela seguinte expressão:

$$Vg = \frac{60 \cdot f}{n} (r.p.m)$$

Onde:

Vg = velocidade do campo girante

f = frequência

n = numero de pares de pólos

Uma característica fundamental dos motores de indução é o escorregamento, daí tratarem-se de motores assíncronos, o seu valor é dado pela seguinte expressão:

$$s = \frac{Vg - V}{Vg}$$

Onde:

s – escorregamento

V - velocidade do rotor

A velocidade sofre um ligeiro decréscimo quando o motor passa de um funcionamento em vazio (sem carga) para um funcionamento em carga máxima.

2.9 Motores de Indução Monofásicos

Os motores monofásicos são assim chamados porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica. Os motores de indução monofásicos são a alternativa natural aos motores de indução trifásicos, nos locais onde não se dispõe de alimentação trifásica, como residências, escritórios, oficinas e em zonas rurais. Apenas se justifica a sua utilização para baixas potências (1 a 2 KW).

Entre os vários tipos de motores elétricos monofásicos, os motores com rotor tipo gaiola destacam-se pela simplicidade de fabricação e, principalmente, pela robustez e manutenção reduzida. Por terem somente uma fase de alimentação, não possuem um campo girante como os motores trifásicos, mas sim um campo

magnético pulsante. Isto impede que tenham torque de arranque, tendo em conta que no rotor se induzem campos magnéticos alinhados com o campo do estator. Para solucionar o problema de arranque utilizam-se enrolamentos auxiliares, que são dimensionados e posicionados de forma a criar uma segunda fase fictícia, permitindo a formação do campo girante necessário para o arranque.

Tipos de Motores de indução monofásicos:

- Motor de Pólos Sombreados;
- Motor de Fase Dividida;
- Motor de Condensador de Partida;
- Motor de Condensador Permanente;
- Motor com dois Condensadores.

2.10 Motores Trifásicos

Podem ser síncronos ou assíncronos. É conhecido como motor de indução porque as correntes são induzidas no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator. No estator do motor de CA, estão alojados três enrolamentos referentes às três fases. Esses três enrolamentos estão montados com uma defasagem de 120 graus. Quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de CA, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante). Esse campo giratório é que vai girar sobre o rotor e provocar seu movimento.

O motor de indução trifásico é o tipo mais utilizado, tanto na indústria como no ambiente doméstico, devido à maioria dos sistemas atuais de distribuição de energia elétrica serem trifásicos de corrente alternada.

A utilização de motores de indução trifásicos é aconselhável a partir dos 2 KW, Para potências inferiores justifica-se o uso de monofásicos. O motor de indução trifásico apresenta algumas vantagens em relação ao monofásico, como o arranque mais fácil, menor nível de ruído e menor preço para potências superiores a 2KW.

2.11 Gaiola de Esquilo

Este é o motor mais utilizado na indústria atualmente. Tem a vantagem de ser mais econômico em relação aos motores monofásicos tanto na sua construção como na sua utilização. Além disso, escolhendo o método de arranque ideal, tem um leque muito maior de aplicações.

O rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostos paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitam os condutores.

O estator do motor é também constituído por um núcleo ferromagnético laminado, que nas cavidades do qual são colocados os enrolamentos alimentados pela rede de corrente alternada trifásica. A vantagem deste rotor relativamente ao rotor bobinado é que resulta numa construção do induzido mais rápida, mais prática e mais barato.

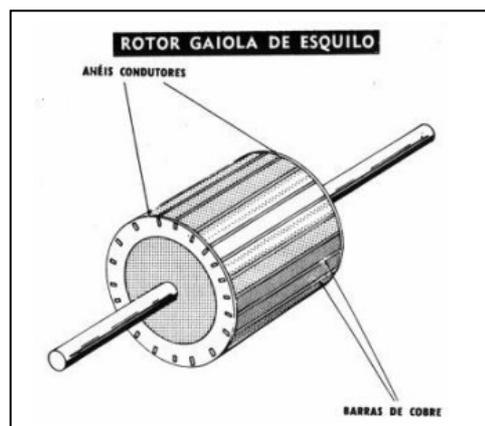


Figura 2.3 Representação de um rotor tipo gaiola de esquilo

As barras condutoras da gaiola são colocadas geralmente com certa inclinação, para evitar as trepidações e ruídos que resultam da ação eletromagnética entre os dentes das cavidades do estator e do rotor.

A principal desvantagem refere-se ao fato de o torque de arranque ser reduzido em relação à corrente absorvida pelo estator. Trata-se essencialmente de um motor de velocidade constante.

2.12 Princípio de Funcionamento do campo girante

Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente.

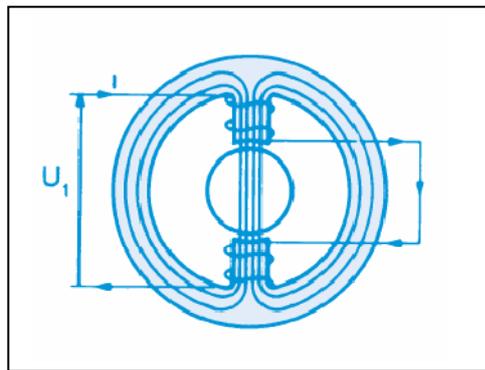


Figura 2.4 Demonstração de um enrolamento monofásico de um motor elétrico

Na figura acima é mostrado um “enrolamento monofásico” atravessado por uma corrente I , e o campo H é criado por ela; o enrolamento é constituído de um par de pólos (um pólo “norte” e um pólo “sul”), cujos efeitos se somam para estabelecer o campo H . O fluxo magnético atravessa o rotor entre os dois pólos e se fecha através do núcleo do estator.

Se a corrente I é alternada, o campo H também é, e inverte seu sentido em cada meio ciclo.

O campo H é “pulsante”, pois sua intensidade “varia” proporcionalmente à corrente, sempre na “mesma” direção norte--sul.

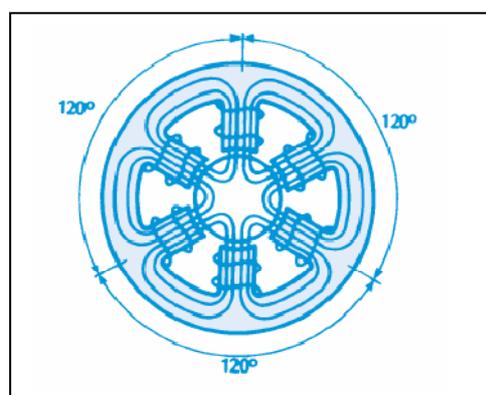


Figura 2.5 Demonstração de um enrolamento trifásico de um motor elétrico

Na figura acima é mostrado um “enrolamento trifásico”, que é composto por três monofásicos espaçados entre si de 120 graus. Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes I1, I2 e I3 criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos H1, H2 e H3. Estes campos são espaçados entre si de 120 graus. O campo total H resultante, a cada instante, será igual à soma dos três campos H1, H2 e H3 naquele instante.

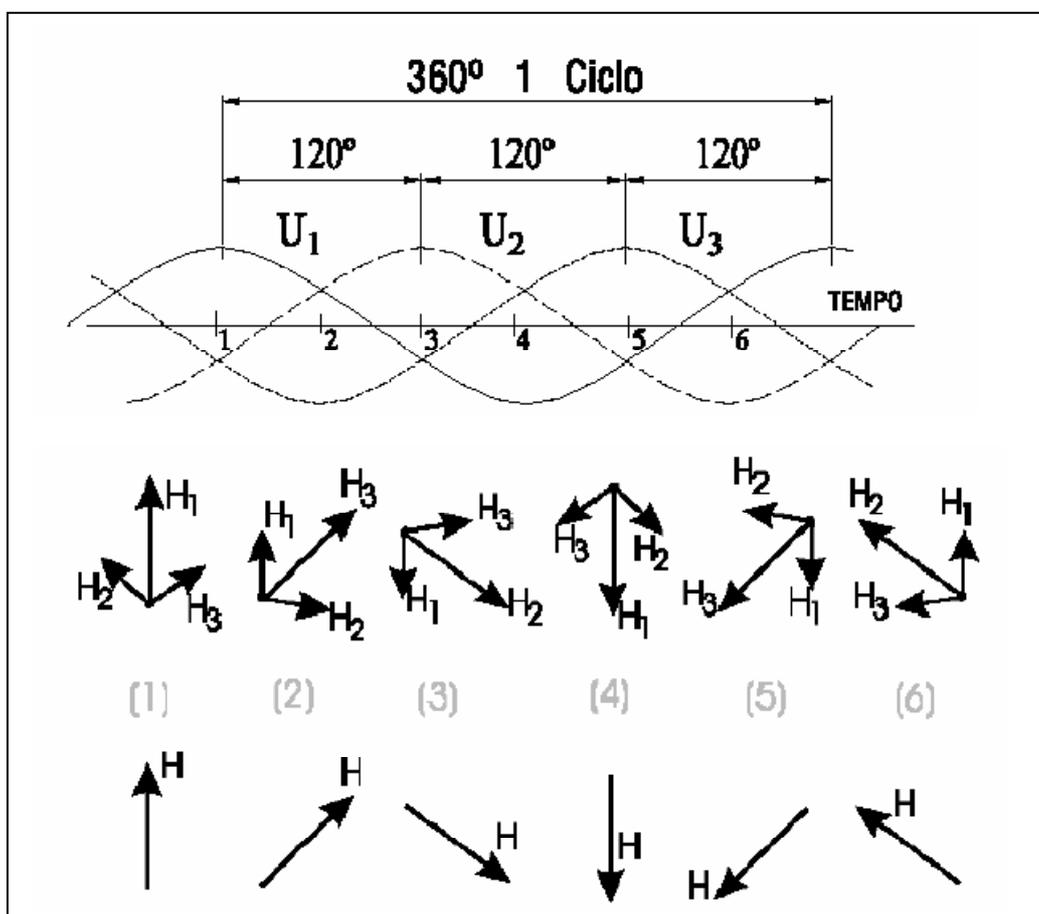


Figura 2.6 Demonstração de um enrolamento de um motor elétrico sistema trifásico, observar as correntes I1, I2 e I3 os seus próprios campos magnéticos H1, H2 e H3. Espaçados entre si de 120 graus. O campo total H resultante, a cada instante, será igual à soma dos três campos H1, H2 e H3.

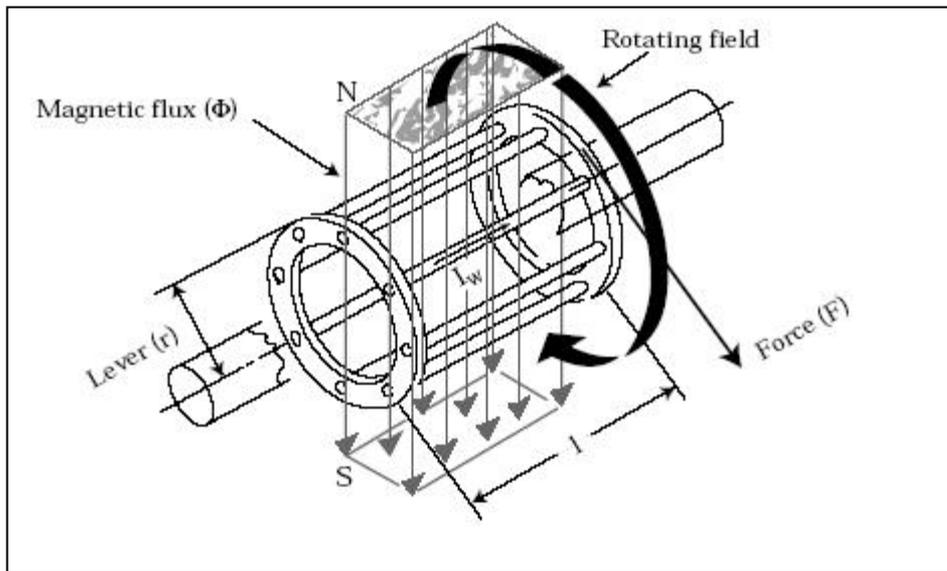


Figura 2.7 - Campo girante e o rotor curto-circuitado.

2.13 Unidades conjugadas ou Motor Drive

O avanço da tecnologia dos Inversores de Frequência tornou possível incorporar aos motores de indução inversores de frequência formando desta forma unidades integradas, compactas e robustas. Fabricados em alumínio, possuem alta resistência à corrosão, leveza e maior condutividade térmica. Recomendado para aplicação em espaços pequenos, onde se necessita variação de velocidade com fácil instalação, ou em situações que exijam mobilidade.



Figura 2.8 Demonstração de uma **Unidade conjugada ou Motor Drive**

2.13.1 Aplicações

Este produto é recomendado, principalmente, para uso em Bombas centrífugas, Exaustores, Ventiladores/ Insufladores, Agitadores industriais. Outras aplicações são possíveis.

2.13.2 Vantagens da Unidade conjugada ou Motor Drive

Dispensa instalação em painéis elétricos, o que favorece a instalação e a mobilidade; Economia de cabos na instalação; Interface homem-máquina remota opcional (fato bastante favorável já que permite maximizar pessoal disponível) Fácil manutenção, Elevada compactação ,Grau de proteção compatível (IP55) Elevada resistência à corrosão; acionamento silencioso possibilidade de Interface serial RS 232.

Estes sistemas compactos destinam-se a servir em situações especiais quando se deseja mobilidade elevada, simplicidade de instalação na área de atuação e a possibilidade de instalação e desinstalação rápidas. Apresenta inconvenientes inerentes às próprias limitações: qualquer problema no motor ou na unidade de comando individualmente determina a paralisação do conjunto todo. Devido a estas características estas unidades são utilizadas para acionar ventiladores/insufladores de ar em estaleiros nas ocasiões em que se executam trabalhos de soldagem que exigem grande circulação de ar e exaustão, tarefas em que a mobilidade das unidades conjugadas oferecem vantagens insuperáveis.

3 - Dispositivos de proteção

O curto-circuito é o contato direto acidental entre os condutores de uma rede. Pode ser entre fases ou entre fase e neutro. Pode ocorrer devido a algum problema na própria rede ou no interior de alguma máquina ou equipamento. A corrente atinge valores elevados, limitados apenas pela resistência ôhmica dos condutores ou capacidade da fonte geradora. Sem uma proteção adequada, danos graves ocorrerão e o risco de incêndio é grande.

Os dispositivos de proteção se destinam a proteger o motor elétrico de avarias, eles, normalmente se dividem em dois grupos bem distintos: os fusíveis e os relés bimetálicos de sobrecarga.

3.1 Fusíveis

Os fusíveis são dispositivos que protegem os circuitos elétricos contra danos causados por sobrecargas de corrente, que podem provocar até incêndios, explosões e eletrocutamentos.

Nada mais é que um pequeno trecho condutor de um material de baixo ponto de fusão. O aquecimento provocado por uma corrente elevada funde o elemento, abrindo o circuito.

Os fusíveis são os elementos mais antigos e tradicionais para proteção contra curto-circuito de sistemas elétricos. O fusível por ser um dispositivo de proteção simples e econômico e, por isso, amplamente utilizado. Funcionam como válvulas, cuja finalidade básica é cortar o fluxo toda vez que a quantidade de energia que trafega por um determinado circuito for excessiva e puder causar danos ao sistema. Sua operação é baseada na fusão do “elemento fusível”, contido no seu interior. O “elemento fusível” é um condutor de pequena seção transversal, que sofre, devido a sua alta resistência, um aquecimento maior que o dos outros condutores, à passagem da corrente.

O “elemento fusível” é um fio ou uma lâmina, geralmente, prata, estanho, chumbo ou liga, colocado no interior de um corpo, em geral de porcelana, hermeticamente fechado. Possuem um indicador, que permite verificar se operou ou não; ele é um fio ligado em paralelo com o elemento fusível e que libera uma mola que atua sobre uma plaqueta ou botão, ou mesmo um parafuso, preso na tampa do corpo. Os fusíveis contêm em seu interior, envolvendo por completo o elemento,

material granulado extintor; para isso utilizam-se, em geral, areia de quartzo de granulometria conveniente.

O elemento fusível pode ter diversas formas. Em função da corrente nominal do fusível, ele compõe-se de um ou mais fios ou lâminas em paralelo, com trecho(s) de seção reduzida. Nele existe ainda um ponto de solda, cuja temperatura de fusão é bem menor que a do elemento e que atua por sobrecargas de longa duração.

A principal característica de um fusível é a sua corrente nominal, isto é, o valor máximo de corrente que o mesmo suporta em regime contínuo sem abrir. Correntes maiores que a nominal irão provocar a ruptura do fusível após algum tempo e esta relação, tempo x corrente de ruptura é a curva característica do fusível. Os fusíveis também têm uma tensão máxima de operação que deve ser obedecida. Alguns tipos, as vezes chamados de retardados, apresentam um tempo relativamente longo para abrir. Outros, chamados rápidos, abrem em um tempo bem menor, na mesma corrente. Esta diversidade é necessária, uma vez que cargas comuns como motores têm um pico de corrente na partida que deve ser suportado e, portanto, o tipo retardado deve ser usado.

3.2 Relé bimetalico de sobrecarga

São dispositivos baseados no princípio da dilatação de partes termoeletricas (bimetalicos). Seu princípio de funcionamento é baseado num dispositivo bimetalico, onde duas lâminas de metais de coeficientes de dilatação diferentes são afixadas geralmente por um processo de soldagem. Essas são isoladas e por sobre as mesmas montado um resistor que aquece ao ser percorrido pela corrente elétrica, que é a mesma que aciona o motor.

Pelo efeito do aquecimento e devido a dilatação ser diferente, uma lâmina fica com o comprimento maior que a outra e há uma deformação (o conjunto entorta). Essa deformação serve então para empurrar uma haste chamada de piloto, que por sua vez aciona um contato elétrico. Quando o sistema é trifásico existem três conjuntos desses montados num mesmo invólucro e atuam sobre um único piloto de forma que qualquer das três fases que apresentar sobre-corrente, pode fazer acionar o contato elétrico de comando, que é único, embora possam haver dois conjuntos de contatos (comum, normal aberto e normal fechado).

A operação de um relé está baseada nas diferentes dilatações que os metais apresentam, quando submetidos a uma variação de temperatura. Relés de sobrecarga são usados para proteger INDIRETAMENTE equipamentos elétricos, como motores e transformadores, de um possível superaquecimento. São usados, desta forma, para proteger os motores elétricos contra sobrecargas. Essas sobrecargas são elevações de corrente por tempo prolongado, devido a um trabalho acima do previsto que pode ultrapassar a corrente nominal do motor. Pode ser também, ocasionada por falta de uma das fases, num motor trifásico ou uma elevação de corrente devido a deficiências mecânicas na instalação, como alinhamentos, acoplamentos, etc.

Uma das características do relé é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas em relação à corrente que o circuito controlado exige para funcionar. Isso significa a possibilidade de controlarmos circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores, circuitos integrados, fotoresistores, etc.

Outra característica importante dos relés é a segurança dada pelo isolamento do circuito de controle em relação ao circuito que está sendo controlado. Não existe contato elétrico entre o circuito da bobina e os circuitos dos contatos do relé, o que significa que não há passagem de qualquer corrente do circuito que Ativa o relé para o circuito que ele controla. Se o circuito controlado for de alta tensão, por exemplo, este isolamento pode ser importante em termos de segurança.

O superaquecimento de um motor pode, por exemplo, ser causado por:

- Sobrecarga mecânica na ponta do eixo;
- Tempo de partida muito alto;
- Rotor bloqueado;
- Falta de uma fase;
- Desvios excessivos de tensão e frequência da rede.

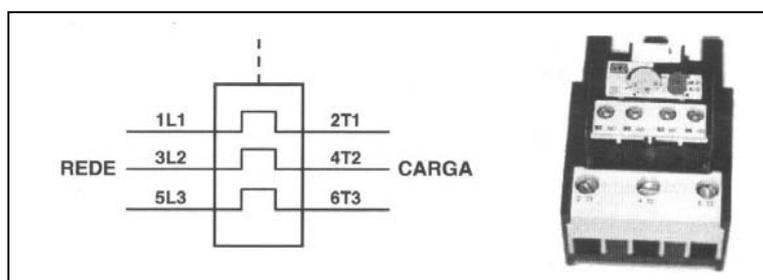


Figura 3.1

Em todos estes casos citados acima, o incremento de corrente (sobrecorrente) no motor é monitorado em todas as fases pelo relé de sobrecarga.

Os terminais do circuito principal dos relés de sobrecarga são marcados da mesma forma que os terminais de potência dos contatores.

Os terminais dos circuitos auxiliares do relé são marcados da mesma forma que os de contatores, com funções específicas, conforme exemplos a seguir.

O número de seqüência deve ser "9" (nove) e, se uma segunda seqüência existir, será identificada com o zero (exemplo na figura 3.2).

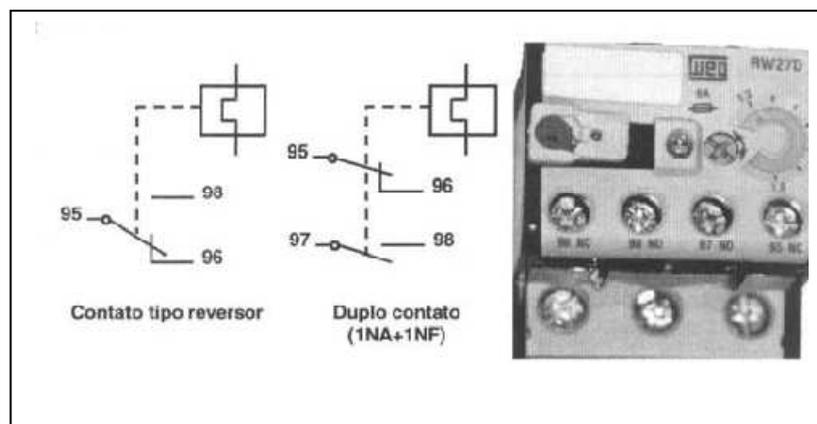


Figura 3.2

Relés bimetálicos de sobrecarga são relés utilizados em circuitos elétricos de acionamento de motores elétricos para proteção de sobrecarga nos motores. Existem muitos fabricantes no mercado e várias faixas de ajuste de corrente.



Figura 3.3 Relé bimetálico de sobrecarga da SIEMENS (rearme manual/automático)

Os vários fabricantes que comercializam esses produtos colocam a opção de rearme automático e manual. No rearme automático o contato retorna a posição inicial tão logo ocorra o resfriamento. No rearme manual, mesmo depois de resfriado é necessário que seja apertado um botão situado na parte frontal do relé, para esta finalidade.

CONCLUSÃO

Os conversores de frequência, ou inversores de frequência, são dispositivos eletrônicos destinados a converter a tensão da rede alternada senoidal, em tensão contínua e finalmente convertem esta última, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis.

Concluimos no decorrer de nosso trabalho que os conversores de frequência costumam também atuar também como dispositivos de proteção para os vários problemas de rede elétrica que se pode ocorrer, como desbalanceamento entre fases, sobrecarga, queda de tensão, etc. Os conversores de frequência de última geração, não somente controlam a velocidade do eixo de motores elétricos trifásicos de corrente alternada, como também, controlam outros parâmetros inerentes ao motor elétrico, sendo que um deles, é o controle de Torque. Esta última característica é sumamente importante em navios de propulsão elétrica.

Os conversores de frequência, são usados normalmente, em motores elétricos de indução trifásicos para substituir os primitivos sistemas de variação de velocidades mecânicos, tais como polias e variadores hidráulicos e de velocidades, e que exigem manutenção periódica (seja preventiva ou preditiva todas com elevado grau de controle), assim como os custosos motores de corrente contínua pelo conjunto motor assíncrono e inversor, mais barato, de manutenção mais simples e reposição simplificada pela grande variedade de componentes existentes no mercado.

Concluimos que em relação aos sistemas mecânicos de variação de velocidade, em média, os inversores de frequência são mais baratos de 50 a 70 % em preço final. Este valor pode subir consideravelmente se o sistema proposto for de acionamento eletrohidráulico ou pneumático.

Sistemas compactos ou Motor Drive destinam-se a servir em situações especiais quando se deseja mobilidade elevada, simplicidade de instalação na área de atuação e a possibilidade de instalação e desinstalação rápidas.

Concluimos que este apresenta inconvenientes inerentes às próprias limitações: qualquer problema no motor ou na unidade de comando individualmente determina a paralisação do conjunto todo. Devido a estas características estas unidades são utilizadas para acionar unidades especiais como:

ventiladores/insufladores de ar, (conhecidos por Sirôcos) em estaleiros nas ocasiões em que se executam trabalhos de soldagem que exigem grande circulação de ar e exaustão dos mesmos, tarefas em que a mobilidade das unidades conjugadas oferecem vantagens insuperáveis.

Os benefícios são diversos, como redução no custo de desenvolvimento, custo dos sistemas de acionamento, custo de manutenção. E nos casos da operação marítima o elevado grau de autonomia e simplicidade no monitoramento, o que constitui uma grande vantagem devido ao reduzido número de operadores a bordo, isoladamente o inversor de frequência contribui muito para que cheguemos à praça de máquinas desguarnecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBI, I. Teoria fundamental do motor de indução. Editora UFSC: Florianópolis-SC, 1985.

DIAS, L. P. C e LOBOSCO, O. S. Motores elétricos: Seleção e aplicação vol. 1, McGraw-Hill, 1998.

CREDER, Helio. Instalações elétricas. 15ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MANOEL F, João. Instalações Elétricas Industriais. 7ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CASTRUCCI, Plínio; Moraes, Cícero Couto de. Engenharia de automação Industrial. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Manual do inversor de frequência série: CFW-09-Software: versão 3.7X0899. WEG 0899.4781 P/7, 2004

Sites:

www.ead.sp.senai.br - Acessado 11 de fevereiro de 2011.