

CIAGA

DENIS OSORIO CARDOSO

**INVERSORES DE FREQUÊNCIA APLICADOS A EMBARCAÇÕES DIESEL
ELÉTRICAS**

Rio de Janeiro, 2013

DENIS OSORIO CARDOSO

**INVERSORES DE FREQUÊNCIA APLICADOS A EMBARCAÇÕES DIESEL
ELÉTRICAS**

Trabalho apresentado como exigência do
curso APMA, sob orientação do professor
Henrique Iglesias Paz.

Rio de Janeiro, 2013

DENIS OSORIO CARDOSO

**INVERSORES DE FREQUÊNCIA APLICADOS A EMBARCAÇÕES DIESEL
ELÉTRICAS**

Trabalho de conclusão apresentado como
requisito do curso APMA da IES CIAGA, sob
apreciação da seguinte Banca Examinadora:

Aprovado em 10 de setembro de 2013

Prof^a. Dr^a. Denise Batista da Silva (CIAGA)

Prof. Henrique Iglesias Paz (CIAGA)

Dedico esta Monografia a minha filha Aline e minha esposa Carla, que foram a minha fonte de força e inspiração para esta realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente a Deus, fonte de sabedoria infinita que nos guia, aos meus pais, a minha esposa e minha filha pelo apoio dado durante esta jornada denominado APMA que sempre acreditaram em minha vitória, aos meus amigos e companheiros de profissão pelo convívio e experiência trocados, aos professores pelo ensinamento e dedicação, e em particular para o meu orientador Henrique Iglesias Paz por ser um exemplo de profissional a ser seguido.

RESUMO

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 (que converte energia elétrica em energia mecânica), dispositivo eletrônico (CLP o qual comanda e/ou controla a potência elétrica entregue ao motor) e a transmissão mecânica (que adapta a velocidade e inércia entre motor e a máquina).

Os motores mais amplamente utilizados nos acionamentos elétricos são os motores de indução monofásicos e trifásicos, estes motores, quando alimentados com tensão e frequência constantes, sempre que não estejam operando a plena carga (potência da carga igual a potência nominal do motor) estarão desperdiçando energia, é importante ressaltarmos aqui 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 se torna um assunto de extraordinária importância no que se refere a economia de energia.

Na aplicação dos inversores de frequência o motor de indução, ao contrário do que acontece quando ligado diretamente à rede de distribuição de energia elétrica, é alimentado com frequência e tensão variável e isto possibilita portanto, como veremos, obter velocidade variável no eixo do próprio motor, é muito importante, assim, conhecermos e entendermos o funcionamento destes sistemas (motor + inversor) para prevenir erros de aplicação que poderiam acabar com os benefícios de economia e prevenção de falhas que estes dispositivos proporcionam.

Nossa proposta nesta monografia é portanto demonstrar as vantagens e os motivos da aplicação dos Inversores de Frequência, os quais estão sendo cada vez mais utilizados nas embarcações *offshore*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito de Aterramento e Blindagem de um Inversor/Motor	21
Figura 2 - Principais Componentes de um Inversor de Frequência.....	29
Figura 3 - <i>Layout</i> da Propulsão Diesel Elétrica	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA:	Corrente Alternada
CC:	Corrente Contínua
CLP ou PLC:	Controlador Lógico Programável
CPU ou UCP:	Unidade Central de Processamento
FET:	Transistores de Efeito de Campo.
FET:	Transistor de Efeito de Campo
IGBT:	Transistor Bipolar de Porta Isolada
IHM:	<i>Interface</i> Homem Máquina
LCD:	<i>Display</i> de Cristal Líquido
RAM:	Memória de Acesso Randômico
VFD:	<i>Display</i> de Vácuo Fluorescente

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 INVERSOR DE FREQUÊNCIA	13
1.1 DEFINIÇÃO	13
1.1.1 Principais Empresas Fabricantes	13
1.1.1.1 Inversores WEG	14
1.1.1.2 Inversores Siemens.....	14
1.1.1.3 Inversores ABB	14
1.1.2 Inversores Monofásicos.....	14
1.2 BLOCOS COMPONENTES DO INVERSOR	15
1.2.1 Unidade Central de Processamento - CPU	15
1.2.2 Interface Homem Máquina - IHM	15
1.2.3 Interfaces Analógica e Digital	15
1.2.4 Circuito de Potência	16
1.3 DIMENSIONAMENTO DE INVERSORES	16
1.3.1 Potência do Inversor.....	16
1.3.2 Tipos de Inversores	17
1.3.2.1 Inversor Escalar	17
1.3.2.2 Inversor Vetorial de Tensão	17
1.3.2.3 Inversor Vetorial de Fluxo.....	18
1.4 INSTALAÇÃO.....	18
1.4.1 Rede de Alimentação Elétrica	18
1.4.2 Fusíveis de Proteção.....	18
1.4.3 Cabos	18
1.4.4 Aterramento e Blindagem.....	19
1.4.4.1 Considerações para um bom Aterramento.....	20

1.4.5 Dispositivos de Saída.....	21
1.4.5.1 Relés Térmicos	21
1.4.5.2 Reatância de Saída.....	21
2 VANTAGENS DO CLP	23
2.1 ARQUITETURA DO CLP	23
2.1.1 Unidades Básicas.....	23
2.2 UNIDADE DE PROCESSAMENTO CENTRAL.....	23
2.2.1 Interface de Programação	24
2.2.2 Interface Homem Máquina - IHM	24
2.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO CLP	24
2.4 CONCLUSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO CLP.....	25
3 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	26
3.1 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	26
3.2 FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	26
3.3 MOTORES DE INDUÇÃO COM ROTOR BOBINADO E GAIOLA DE ESQUILO.....	27
3.3.1 Motor em Gaiola de Esquilo	28
3.4 VELOCIDADE DO ROTOR.....	28
3.5 CONTROLE DE VELOCIDADE DOS MOTORES DE INDUÇÃO	28
3.6 CONTROLE CONTÍNUO DE VELOCIDADE	29
4 APLICAÇÃO DO CONJUNTO INVERSOR DE FREQUÊNCIA E CLP NAS EMBARCAÇÕES <i>OFFSHORE</i> DIESEL ELÉTRICAS	31
4.1 VANTAGENS DA APLICAÇÃO DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA NAS EMBARCAÇÕES <i>OFFSHORE</i>	31
4.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA E <i>SOFT STARTERS</i>	32
4.3 DISTORÇÃO HARMÔNICA	32
4.4 PROPULSÃO ELÉTRICA COM RETIFICADOR E INVERSOR.....	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

Palavras-chave: Inversor de Frequência. CLP (Controlador Lógico Programável).
Motor de Indução Monofásico/Trifásico.

ABSTRACT

An electric drive system is capable of converting electrical energy into mechanical energy (movement), keeping under control this conversion process. These are typically used to drive machinery or equipment that require some type of controlled movement, for example rotation speed of a pump.

A modern electric drive is usually formed by combining the following elements: engine (which converts electrical energy into mechanical energy), electronic device (PLC which controls and / or controls the electrical power supplied to the motor) and mechanical transmission (adjusting the speed and inertia between motor and machine).

The engines most widely used in electric drives induction motors are single phase and three phase , these motors when fed with constant voltage and frequency , which are not always operating at full load (power load equal to the rated motor power) will be wasting energy it is also important to emphasize here the fact that an induction motor transforms into mechanical energy about 85% of all the electricity it receives and the remaining 15% is wasted , so the electric drive machines becomes a matter of outstanding importance with regard to energy saving.

In the application of frequency inverters induction motor , unlike what happens when connected directly to the mains electricity is supplied with variable voltage and frequency and this allows therefore, as we shall see, for speed variable in the axis of the engine itself is very important , therefore, know and understand the functioning of these systems (motor + inverter) to prevent application errors that could wipe out the savings benefits and prevention of failures that these devices provide .

Our proposal in this paper is therefore to demonstrate the advantages and reasons for application of frequency inverters, which are being increasingly used in offshore vessels

Key words: Frequency Inverter. Programmable Logic Controller PLC. Induction Motor.

INTRODUÇÃO

O propósito desta monografia é demonstrar as vantagens e a importância da utilização dos inversores de frequência em conjunto com um ou mais CLP (Controlador Lógico Programável) nas embarcações offshore para controle de eixos, controle de velocidade, controle de posicionamento e controle de torque através da variação de velocidade.

Para tanto, iniciaremos no Capítulo 1, o estudo sobre o Inversor de Frequência que é um equipamento versátil e dinâmico para controle de velocidade de motores de indução. Este capítulo contém a definição, fundamentos básicos de funcionamento e ainda as aplicações e as partes constituintes do Inversor.

No Capítulo 2, iremos realizar uma breve explicação sobre o CLP, que grosso modo podemos dizer que nada mais é, que um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções para implementação e execução de funções específicas, tais como: lógica, sequenciamento, temporização, contagem, aritmética e controle, por meio de módulos. Este capítulo contém a definição, o funcionamento e as partes constituintes do CLP.

Na introdução sobre Motor de Indução Trifásico realizada no Capítulo 3 mostraremos o que é um motor elétrico de indução e seus princípios básicos de funcionamento além de seus modelos.

O Quarto, e último capítulo, reservam para as Considerações Finais, onde serão apresentadas as conclusões e vantagens decorrentes da aplicação desta tecnologia nas embarcações *offshore* diesel elétricas.

1 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Na busca por melhores desempenhos, aumento da vida útil de motores, redução da temperatura e corrente de partida, etc., os inversores de frequência ganharam espaço também no seguimento naval, visando solucionar as necessidades crescentes deste mercado.

1.1 DEFINIÇÃO

Os inversores de frequência, também conhecido como conversores de frequência, são dispositivos eletrônicos que convertem a tensão da rede alternada senoidal, em tensão contínua e finalmente convertem esta última, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Com poucas palavras podemos dizer que os inversores são equipamentos de baixo custo para o controle da velocidade de motores de indução trifásicos.

O Inversor de Frequência tem na sua entrada um bloco retificador, o circuito intermediário composto de um banco de capacitores e circuitos de filtragem de alta frequência e por último o bloco inversor composto de transistores IGBT. Na indústria, entretanto, ambos os termos (inversor e conversor) 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 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 de fácil reposição.

Os inversores de frequência podem também ser utilizados 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.

1.1.1 Principais Empresas Fabricantes

A seguir exibiremos as principais empresas fabricantes de inversores de

frequência junto aos seus principais inversores já lançados no mercado

1.1.1.1 Inversores WEG

Os inversores de Frequência WEG incorporam a mais avançada tecnologia disponível mundialmente para variação de velocidade em motores de indução trifásicos.

1.1.1.2 Inversores Siemens

A Família de inversores de frequência Micromaster 4, foi especialmente desenvolvida pela Siemens enfocando a mais alta qualidade técnica, extrema robustez e ampla flexibilidade de funções. Os membros da família MM4 caracterizam-se pelo seu manuseio simples.

1.1.1.3 Inversores ABB

Os inversores de frequência ABB para maquinaria em geral são fabricados para o sector de produção. Na produção em série, o tempo consumido por unidade é crítico. Este inversor de frequência foi fabricado para ser o inversor mais rápido em termos de instalação, definição de parâmetros e comissionamento. O produto básico foi feito de forma a ser o mais simples de utilizar, no entanto fornecido com elevadas potencialidades. Os inversores de frequência ABB oferecem diversas funcionalidades para satisfazer as necessidades mais exigentes de mercado.

1.1.2 Inversores Monofásicos

Além dos inversores trifásicos, temos também o Inversor de Frequência monofásico. Este inversor é alimentado por apenas duas fases ou uma fase e um neutro, fornecendo uma saída trifásica. O inversor monofásico é utilizado em aplicações onde não existe rede trifásica. Geralmente os inversores de frequência monofásicos são de baixa potência. É importante ressaltar que alguns inversores trifásicos aceitam alimentação com apenas duas fases.

O funcionamento do inversor de frequência monofásico não difere muito do inversor trifásico. A diferença é que na etapa inicial, em vez de ser uma retificação

trifásica, temos uma monofásica, utilizando-se quatro diodos semicondutores ao invés de seis.

1.2 BLOCOS COMPONENTES DO INVERSOR

Para entender o funcionamento de um inversor de frequência, é necessário, antes de mais nada, saber a função de cada bloco que o constitui. Este é ligado na rede, podendo ser monofásica ou trifásica, e em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência diferente da rede. Para tanto, o inversor tem como primeiro estágio, um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua, e em seguida um segundo estágio capaz de realizar o inverso, ou seja, de CC para CA (conversor), e com a frequência solicitada pela carga.

1.2.1 Unidade Central de Processamento - CPU

O bloco da CPU, de um inversor de frequência pode ser formado por um micro processador ou por um micro controlador (PLC). Isso depende do fabricante. De qualquer forma, é nesse bloco que todas as informações (parâmetros e dados do sistema) estão armazenadas, visto que também uma memória está integrada a esse conjunto. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros relativos aos equipamentos, como também executa a função mais vital para o funcionamento do inversor: A geração dos pulsos de disparo, para os IGBT.

1.2.2 Interface Homem Máquina - IHM

O bloco da IHM é um dispositivo que nos permite visualizar o que está ocorrendo no inversor através do seu *display* de LCD, e parametrizá-lo de acordo com a aplicação desejada através das teclas de seu painel.

1.2.3 Interfaces Analógica e Digital

Os inversores podem ser comandados através de dois tipos de sinais: Analógicos ou digitais. Normalmente, quando queremos controlar a velocidade de rotação de um motor AC no inversor, utilizamos uma tensão analógica de comando.

Essa tensão se situa entre 0 á 10 Vcc. A velocidade de rotação (RPM) será proporcional ao seu valor, por exemplo: 1 Vcc = 1000 RPM, 2Vcc = 2000 RPM e assim por diante.

Para inverter o sentido de rotação basta inverter a polaridade do sinal analógico (de 0 á 10 Vcc sentido horário, e -10 á 0 Vcc sentido anti-horário). Esse é o sistema mais utilizado, sendo que a tensão analógica de controle é proveniente do controle numérico computadorizado. Além da interface analógica, o inversor também possui entradas digitais, portanto através de um parâmetro de programação, podemos selecionar qual entrada é válida (Analógica ou digital).

1.2.4 Circuito de Potência

A etapa de potência é constituída por um circuito retificador. Neste circuito retificador é utilizado o semiconductor denominado IGBT que nada mais é que um Transistor Bipolar de Porta Isolada, frequentemente utilizado como uma chave, por trabalhar alternando entre dois estados o de condução e de corte.

1.3 DIMENSIONAMENTO DE INVERSORES

Para a escolha do inversor devemos analisar os seguintes pontos: o modelo, o tipo e a potência do inversor de acordo com a necessidade de utilização do mesmo, bem como também a potência do motor a ser controlado.

1.3.1 Potência do Inversor

Para calcularmos a potência do inversor, temos que saber qual o motor (e qual carga) ele acionará. Normalmente a potência dos motores é dada em CV ou HP. Basta fazer a conversão para watts, por exemplo:

Rede elétrica = 380Vca

Motor = 1 HP

Cálculos:

1HP = 746W. Portanto, como a tensão de rede é de 380Vca e os inversores (normalmente) possuem fator de potência igual a 0,8 ($\cos\phi = 0,80$), teremos:

I = Corrente do inversor

P = Potência em Watts

Tensão na rede $\times \cos \varphi$

$$I = 746 / (380 \times 0,8) = 2,45 \text{ A (arredondando 2,45 para cima).}$$

1.3.2 Tipos de Inversores

A maioria dos inversores utilizados é do tipo escalar (ou seja, só controlam a velocidade e não o torque, por isso também são mais baratos). Só utilizamos o tipo vetorial nas seguintes ocasiões: Extrema precisão de rotação ou torque elevado para baixa rotação.

1.3.2.1 Inversor Escalar

Em linhas gerais, podemos dizer que os inversores escalares são fontes de alimentação com valores de tensão/frequência pré-determinados dentro de toda a faixa de variação de velocidade.

Existem curvas $V \times F$ prontas, destinadas a aplicações mais comuns, como curvas quadráticas para bombas e ventiladores e curvas com alto torque de partida. Também existe a possibilidade de programação dos valores da curva $V \times F$ possibilitando a sua adaptação a cargas especiais.

Considerando-se que o torque no eixo do motor é proporcional à relação $V \times F$, os inversores escalares irão disponibilizar ao motor torques pré-determinados, não compensando as necessidades de torques adicionais requeridas por determinadas aplicações.

1.3.2.2 Inversor Vetorial de Tensão

Nos controles vetoriais de tensão, a tensão no motor é calculada pelo programa do inversor e este compensa em parte os conjugados no rotor. Uma das técnicas de fazer o controle vetorial de tensão é manter o escorregamento constante. Esse controle melhora a eficiência do motor pois ele trabalha com tensões menores quando o conjugado é menor que o nominal.

1.3.2.3 Inversor Vetorial de Fluxo

Os inversores com controle vetorial de fluxo mantêm o fluxo magnético no motor constante. Diferente do controle vetorial de tensão em que o conjugado é controlado pelo escorregamento e o campo é diretamente proporcional ao conjugado no rotor.

Os Inversores Vetoriais de Fluxo produzem uma saída trifásica com tensão(V) e frequência (F) controladas independentemente, não seguindo uma curva V x F pré-fixada.

A proposta deste equipamento é manter o fluxo magnético do motor constante e controlar diretamente o torque do eixo do motor controlando-se a corrente rotórica do mesmo.

1.4 INSTALAÇÃO

Este tópico tem como objetivo apresentar os componentes e informações gerais que são necessárias para a instalação de um inversor de frequência.

1.4.1 Rede de Alimentação Elétrica

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 à rede, faz-se necessário então a colocação de um transformador de isolamento.

1.4.2 Fusíveis de Proteção

Os inversores geralmente não possuem proteção contra curto-circuito na entrada, sendo assim, é da responsabilidade do usuário instalar se necessário, fusíveis para proteção do mesmo.

A necessidade destes ou não são normalmente especificados na documentação técnica do fabricante.

1.4.3 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. Para contornar este problema existem cabos especiais com blindagem afim de minimizar este tipo de interferência. Os inversores WEG possuem boa imunidade a interferência eletromagnética externa, porém é necessário seguirmos estritamente as instruções de instalação, portanto se perto do equipamento houver contadores, será necessário instalar supressores de transientes.

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 também ser usado um eletroduto metálico com fiação comum interna;
- Blindagem ou eletroduto metálico deve ser aterrado;
- Separar dos cabos de sinal, o controle e cabos de alimentação de equipamentos sensíveis;
- Manter sempre continuidade elétrica de blindagem, mesmo que os contadores ou relés térmicos sejam instalados entre o conversor e o motor.

Já os Cabos de Sinal e Controle devem seguir os seguintes procedimentos:

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

1.4.4 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, toda a parte

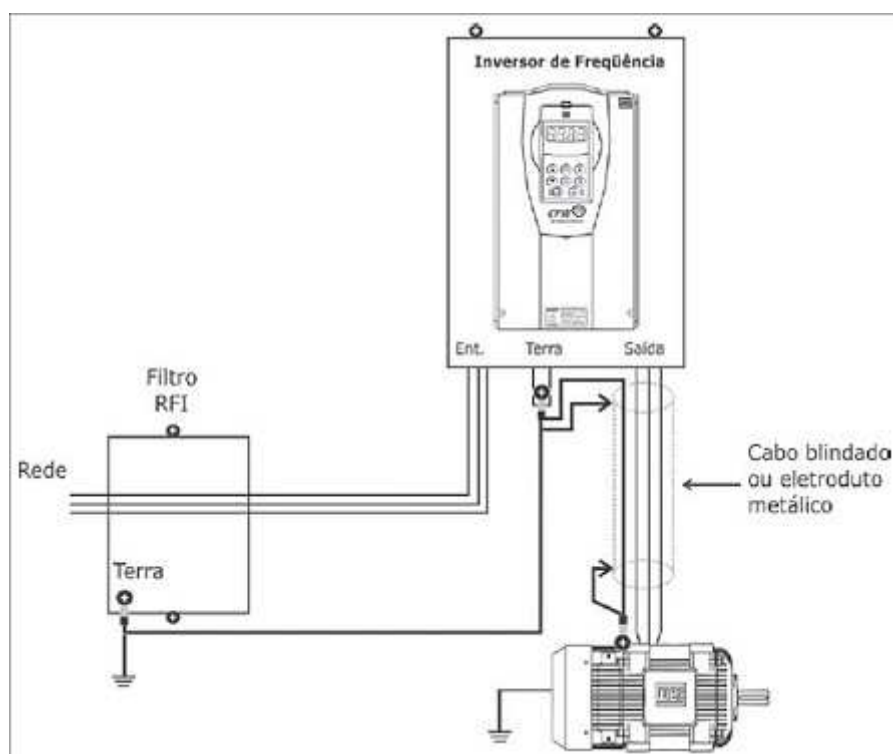
condutora que pode entrar em contato com o usuário tem que ter uma diferença de potencial de 0 volts a respeito do aterramento. A blindagem dos equipamentos é realizada normalmente com placas metálicas formando um gabinete ou caixa. Estas devem estar ligadas umas às outras através de materiais condutores e todas corretamente aterradas.

1.4.4.1 Considerações para um bom Aterramento

As principais considerações para um bom aterramento dos inversores são:

- Utilizar aterramento em um Único Ponto;
- Utilizar Filtro + conversor + motor;
- 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;
- A malha de aterramento deve ter uma resistência menor que 10 Ohms;
- Recomenda-se usar filtros RC em bobinas de contadores, solenóides ou outros dispositivos similares em alimentação CA;
- Em alimentação CC usar diodo de roda livre. Conexão de Resistores de Frenagem Reostática;
- Utilizar cabos com blindagem aterrada ou eletroduto metálico aterrado separado dos demais;
- A rede elétrica deve estar referenciada ao terra (neutro) aterrado.

Figura 1 - Circuito de Aterramento e Blindagem de um Inversor/Motor



Fonte: WEG

1.4.5 Dispositivos de Saída

Os dispositivos de saída de suma importância neste caso são: Relés Térmicos e Reatância de Saída.

1.4.5.1 Relés Térmicos

Os inversores possuem normalmente proteção contra sobre correntes que tem como finalidade a proteção do motor. Quando mais de um motor é acionado pelo mesmo inversor e necessário a colocação de um relé térmico no circuito de proteção de cada motor. Como o sinal de saída do inversor é chaveado a altas frequências, podem acontecer disparos nos relés, mesmo sem estes terem atingido sua corrente nominal de disparo. Para isto não acontecer é necessário o aumento da corrente de disparo do relé em aproximadamente 10% da corrente nominal do motor.

1.4.5.2 Reatância de Saída

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

- Sobre tensões nos motores produzidas por um fenômeno chamado de onda refletida;

- 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 problema pode ser solucionado utilizando uma reatância entre o motor e o inversor. Esta reatância deve ser projetada especialmente para altas frequências, pois os sinais de saída do inversor possuem frequências de até 20 kHz.

2 VANTAGENS DO CLP

As principais vantagens do uso do CLP são:

- Otimização do espaço físico;
- Menor consumo de energia elétrica;
- Admitir as mais diversas funções através da programação de seu software;
- Maior confiabilidade;
- Maior flexibilidade;
- Maior otimização na elaboração de projetos;
- Interfaces de comunicação com outros CLP e computadores.

2.1 ARQUITETURA DO CLP

Os Controladores Programáveis, são normalmente compostos de Unidades Básicas que são dispostas em blocos.

2.1.1 Unidades Básicas

As unidades básicas em geral são compostas por:

- Unidades de entrada;
- Unidades de saída;
- Unidade de processamento;
- Unidade fonte de alimentação.

2.2 UNIDADE DE PROCESSAMENTO CENTRAL

A unidade de processamento central - UCP é a responsável pelo gerenciamento e processamento das informações do sistema e é composta pelo microprocessador ou micro controlador, memória de programa básico, memória de dados, memória de programa de usuário, interface de programação e interface homem-máquina.

O módulo de processamento monitora os sinais de entrada do CLP e os combina de acordo com as instruções existentes em seu programa de memória.

Executando operações lógicas, de temporização, contagem e sequenciamento para em seguida liberar os sinais apropriados para as saídas e assim comandar os dispositivos.

2.2.1 Interface de Programação

Esta interface permite a programação da memória de usuário através do uso de um *software* específico.

2.2.2 Interface Homem Máquina - IHM

Esta interface permite a interação do usuário com a máquina ou processo, possibilitando assim a visualização ou alteração das variáveis envolvidas nestes sistemas.

A aparência visual mais encontrada nesses dispositivos são: Frontais de teclado e *display* de cristal líquido (LCD) ou vácuo fluorescente (VFD).

2.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO CLP

Quando energizamos o controlador programável as seguintes operações são executadas:

- Teste de escrita/leitura da memória RAM;
- Limpeza das memórias imagens de entrada e saída;
- Testes de execução do programa de usuário;
- Execução de rotinas de inicialização (limpeza de registros auxiliares de trabalho, limpeza de display, preparação de teclado).

Após estas "Condições de Inicialização" a UCP (unidade central de processamento) passa a fazer uma varredura constante, ou seja, rotinas repetitivas em um "*loop*" fechado. Essa sequência de atividades definidas e controladas pelo programa ocorre em um ciclo, chamado de Varredura ou *Scan*, conforme as etapas a seguir: A primeira etapa da varredura é verificar os dados das entradas, transferindo-os para uma memória imagem. Memória imagem é um espelho do estado das entradas e saídas, esta memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa de usuário, esta recebe portanto em cada endereço

correspondente a uma entrada o seu estado ligado/desligado no caso de entradas digitais, ou um valor numérico no caso das entradas analógicas.

Uma vez gravados os dados das entradas na respectiva memória imagem, inicia-se a execução do programa de acordo com as instruções definidas pelo usuário. Durante o processamento do programa, o CLP armazena os dados na memória imagem das saídas.

Por fim o CLP transfere esses dados para as saídas físicas e desta forma o ciclo termina e a varredura é reiniciada.

2.4 CONCLUSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO CLP

Algumas das principais características de um controlador programável são:

- Programabilidade;
- Alta confiabilidade;
- Imunidade a ruídos;
- Isolação óptica de entradas e saídas;
- Detecção de falhas;
- Modularidade;
- *Startup* rápido;
- Operação em condições ambientais severas.

3 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Todo motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica. O processo de conversão de energia dos motores de indução fundamenta-se na lei de indução de Faraday e na lei de Lenz. Um motor de indução é um motor elétrico que funciona somente em corrente alternada.

O motor de indução é o tipo de motor elétrico mais utilizado nas indústrias. Sendo largamente utilizado devido à sua simplicidade, robustez, durabilidade e pequena necessidade de manutenção.

3.1 MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O motor de indução trifásico é uma máquina elétrica de corrente alternada muito utilizada no acionamento de cargas mecânicas.

A grande vantagem do motor de indução trifásico é a sua capacidade de operar sem necessidade de contato com os enrolamentos do rotor. Isso significa uma redução dos custos de manutenção.

Normalmente a alimentação do motor de indução trifásico é feita pelo estator. Os enrolamentos do rotor podem ser de dois tipos: “bobinado” ou “gaiola de esquilo”. O rotor bobinado, menos usado, tem bobinas trifásicas no rotor e anéis coletores no eixo de forma a permitir o acesso às correntes induzidas nos enrolamentos do rotor. O rotor tipo gaiola de esquilo é composto de barramentos condutores alojados em ranhuras do rotor e curto circuitados.

3.2 FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Uma questão fundamental em todo tipo de motor elétrico é entender como se produz o movimento rotatório de um eixo (energia mecânica) a partir de corrente elétrica (energia elétrica). Em palavras mais técnicas, como se produz um torque eletromecânico no rotor.

Como se sabe, torque (ou conjugado) é definido pelo produto de uma força por uma distância. Em um motor de indução, a criação do torque no rotor baseia-se na lei de indução de Faraday e na lei de Lenz. O princípio de funcionamento de um

motor de indução pode ser entendido imaginando-se um ímã permanente em formato de ferradura suspenso por um fio sobre um disco metálico que pode girar em torno de seu eixo.

Imaginemos então que este ímã permanente comece a girar em torno de seu eixo. O fluxo magnético produzido pelo ímã começa a varrer a superfície do disco, caracterizando portanto um fluxo variável ao longo do tempo. Essa variação portanto produz a indução de uma tensão no disco, pela lei de Faraday, e conseqüentemente a circulação de correntes, pois o disco é metálico. Essas correntes induzidas têm sentido de circulação determinados pela lei de Lenz (o fluxo criado por elas deve se opor à variação do fluxo), de tal modo que criam-se no disco polaridades magnéticas opostas aos pólos do ímã permanente. Sob o pólo norte do ímã cria-se um pólo sul no disco, que se atraem. Em conseqüência, o disco gira no mesmo sentido do movimento do ímã. Se o sentido de rotação do ímã permanente for invertido, também inverte-se o sentido de giro do disco.

Analogamente em um motor de indução real, o ímã permanente girando é substituído por um campo girante criado por três bobinas fixas localizadas no estator, nas quais circulam correntes alternadas defasadas de 120 graus. Já o disco metálico é substituído por um rotor cilíndrico na forma de uma gaiola metálica, esta gaiola possui aros metálicos na tampa e na base, de tal modo a curto-circuitar as varetas e a permitir a circulação de correntes por elas.

3.3 MOTORES DE INDUÇÃO COM ROTOR BOBINADO E GAIOLA DE ESQUILO

Em um motor de indução trifásico real, o fluxo girante é produzido por três enrolamentos iguais fixados em um núcleo de material ferromagnético (estator) e alimentados por tensões de uma rede trifásica. Como a frequência da rede é constante (60 Hz), então a velocidade de rotação do fluxo ou campo girante também é constante. Esse fluxo girante ao ir atravessando as varetas do rotor tipo gaiola vai induzindo neste correntes que, por sua vez, criam fluxos (como se fossem eletroímãs de polaridade oposta ao fluxo girante) que tendem a se opor ao movimento do fluxo girante (lei de Lenz). Em conseqüência, o rotor gaiolo gira no mesmo sentido do fluxo girante, tentando alcançá-lo para reduzir a intensidade da indução, que como se sabe é proporcional à variação do fluxo (lei de Faraday).

Dessa maneira, estabelece-se o torque que faz o rotor gaiola girar. Nem

todo motor de indução possui rotor do tipo gaiola. Existem motores cujo rotor é constituído por um enrolamento tradicional com várias espiras, sendo chamado rotor tipo bobinado. Nesse caso, o enrolamento do rotor deve ser curto-circuitado para permitir a circulação das correntes induzidas.

3.3.1 Motor em Gaiola de Esquilo

O motor com rotor em gaiola de esquilo é o mais comum e mais robusto dos motores de indução.

A ausência de contato elétrico entre o rotor e o exterior torna este motor bastante econômico e de baixa manutenção. A maior desvantagem é a dificuldade do controle de velocidade sem uso de dispositivos eletrônicos (inversores).

A gaiola é um conjunto de barras curto-circuitadas por anéis e assim sendo não há contato elétrico com o exterior.

3.4 VELOCIDADE DO ROTOR

Em qualquer motor de indução, a velocidade do rotor (que é a mesma do eixo) é sempre menor que a velocidade síncrona (do campo girante). Se, por hipótese, o rotor conseguisse alcançar a velocidade síncrona, então o campo girante e o rotor gaiola estariam efetivamente parados (um em relação ao outro), não haveria variação relativa de fluxo e portanto também não haveria indução.

Em regime permanente, a velocidade do rotor depende da diferença relativa das frequências da tensão de alimentação e da tensão induzida no rotor.

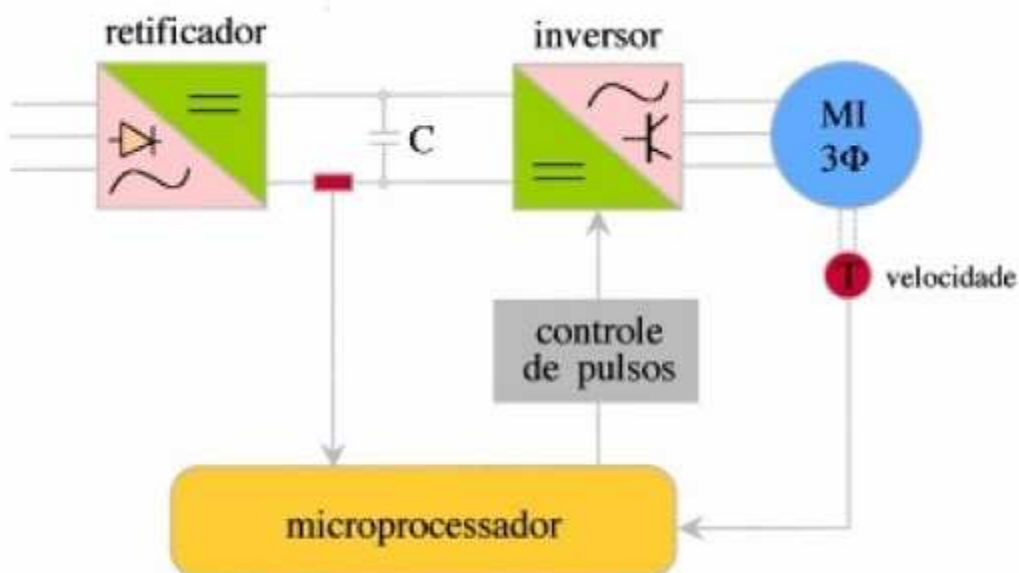
3.5 CONTROLE DE VELOCIDADE DOS MOTORES DE INDUÇÃO

Em algumas aplicações de motores de indução é necessário controlar a velocidade de acionamento da carga. Um modo frequentemente utilizado para variar de maneira controlada a velocidade de motores de indução é através da variação da frequência da tensão de alimentação. Sabe-se que a velocidade do campo girante é diretamente proporcional ao valor da frequência e que a velocidade do motor depende da velocidade do campo girante.

A variação da frequência, pode ser obtida portanto através de um inversor

de frequência, que deve ser instalado entre a fonte de tensão e o motor a ser controlado.

Figura 2 - Principais Componentes de um Inversor de Frequência



Fonte: do autor.

O bloco retificador converte a tensão trifásica alternada em uma tensão contínua de 60 Hz, enquanto que o bloco inversor reconverte a tensão contínua em tensão trifásica alternada cuja frequência é determinada pelo usuário de acordo com a velocidade desejada, sendo que quanto maior a frequência, maior a velocidade do motor. Um inversor de frequência também tem a função de controle da corrente de partida, permitindo variar a magnitude da tensão aplicada ao motor.

3.6 CONTROLE CONTÍNUO DE VELOCIDADE

Para os motores de indução trifásicos mantendo-se constante a relação $V \times F$, o fluxo do campo girante se mantém constante, e o conjugado do motor também será constante. Isto é conseguido variando-se simultaneamente e na mesma proporção, a tensão e a frequência da tensão de alimentação do motor.

Basicamente o acionamento eletrônico é composto por chaves eletrônicas e um circuito de controle. As chaves eletrônicas podem ser Tiristores, GTO,

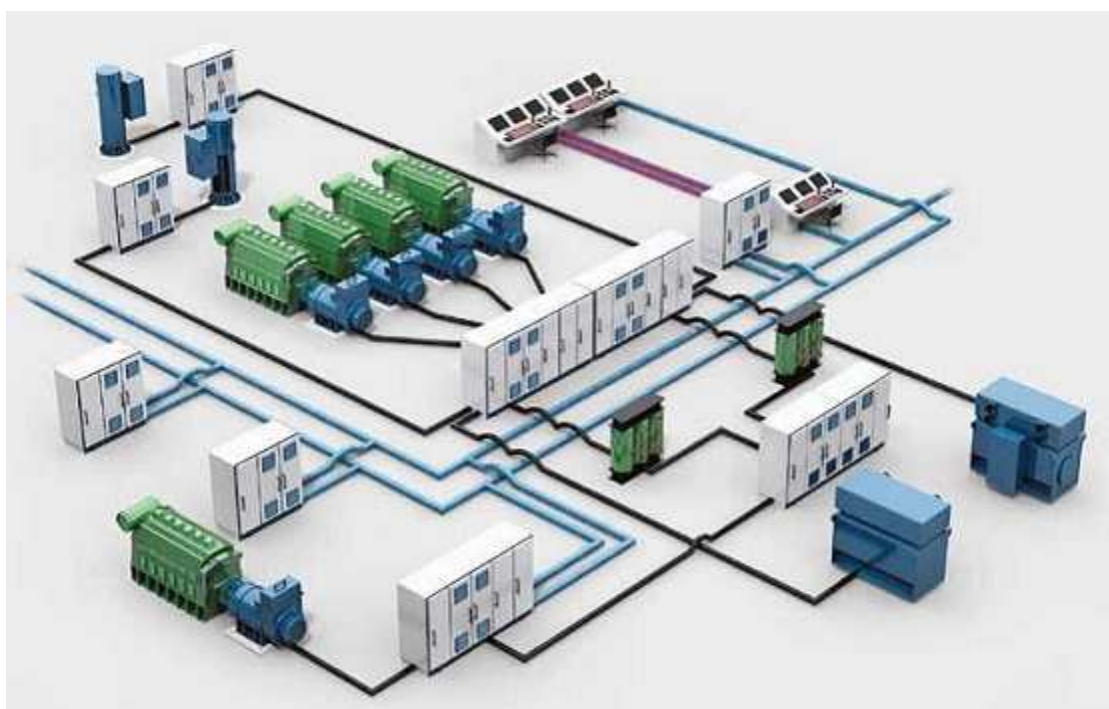
Transistores Bipolares ou Transistores de Efeito de Campo (FET). O mais importante do ponto de vista da eficiência energética, é que com o este controle eletrônico as perdas são minimizadas.

4 APLICAÇÃO DO CONJUNTO INVERSOR DE FREQUÊNCIA E CLP NAS EMBARCAÇÕES *OFFSHORE* DIESEL ELÉTRICAS

As embarcações diesel elétricas estão alcançando cada vez mais um índice ímpar de modernização, oferecendo hoje o que há de mais moderno em termos de painéis elétricos automatizados e sistemas de monitoramento remoto entre outras tecnologias, e é nesse tipo de contexto o qual temos também a aplicação dos Inversores de Frequência.

Seja portanto a título de exemplificação a figura abaixo, nos mostra o layout da aplicação deste tipo de tecnologia em uma embarcação *offshore*.

Figura 3 - Layout da Propulsão Diesel Elétrica



Fonte: WEG

4.1 VANTAGENS DA APLICAÇÃO DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA NAS EMBARCAÇÕES *OFFSHORE*

Listamos abaixo algumas das vantagens da propulsão diesel elétrica:

- Flexibilidade na organização da sala de Máquinas;
- Eliminação da linha de eixos;

- Manutenção menor para os motores diesel;
- Menor Consumo;
- Alta confiabilidade;
- Maior disponibilidade;
- Menor nível de vibração e de ruído;
- Redução da poluição (CO₂ e Nox).

4.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA E *SOFTSTARTERS*

Os inversores de frequência são aplicados para o controle da velocidade e também para a proteção dos motores elétricos. Podem ser fornecidos com ventilação forçada ou com refrigeração a água.

Possuem como aplicações: motores de propulsão sem variação do passo da hélice, compressores, bombas, ventiladores, etc.

O projeto tipo *book* permite alto nível de compactação, assegura alta confiabilidade e é de fácil manutenção.

4.3 DISTORÇÃO HARMÔNICA

A presença de conteúdo harmônico na tensão de alimentação dos motores de indução, gerando-se a absorção de correntes harmônicas, provoca a elevação das perdas no cobre e no ferro.

A utilização de inversores de frequência para o acionamento de motores elétricos requer cuidados especiais, sendo fundamental o auxílio dos fabricantes no processo de análise da aplicação e nas especificações finais. O efeito conjunto das altas frequências de chaveamento dos atuais inversores e do comprimento dos cabos de ligação inversor-motor podem incorrer no surgimento de sobre tensões estacionárias no circuito, e provocar a queima prematura dos enrolamentos dos motores.

Em grande parte dos casos, as soluções adotadas para eliminar ou pelo menos minimizar os efeitos indesejáveis das distorções harmônicas, consistem nos seguintes procedimentos:

- Na instalação de reatores;
- Na instalação de filtros passivos, ativos e filtros híbridos;

- Na utilização de transformadores de separação;
- No reposicionamento e/ou alteração da potência de banco de capacitores estáticos;
- Na elevação da capacidade do sistema de alimentação, entre outros.

4.4 PROPULSÃO ELÉTRICA COM RETIFICADOR E INVERSOR

No sistema diesel elétrico a energia produzida pelos geradores é inicialmente retificada. Essa corrente contínua é então modulada por um inversor para atingir a amplitude e a frequência desejada, que pode ser aumentada ou reduzida fazendo com que o campo induzido seja acelerado ou retardado.

A maioria dos inversores utilizam IGBT para ligação dos enrolamentos, que são transistores bipolares com facilidade de acionamento e com pequenas perdas, permitindo assim uma operação em alta frequência.

Este processo é realizado de acordo com a resposta do rotor, o qual é acompanhado por um sensor de posição que mostra exatamente em que ponto este está em relação ao estator.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, podemos concluir que a utilização de Inversores de Frequência, para controle de Motores de Indução tem crescido rapidamente no segmento *offshore*, pois estes equipamentos se tornaram práticos e econômicos neste mercado. Por este motivo abordamos que controlar velocidade, posicionamento e torque com tais equipamentos pode ser uma solução eficiente e econômica para a máquina ou processo industrial que exige confiabilidade.

O uso do inversor de frequência para estes fins se torna simples devido a sua fácil parametrização, sua facilidade de instalação e as muitas opções de fabricantes existentes no mercado.

Em conjunto com o inversor de frequência, também podemos utilizar como já foi dito anteriormente o CLP onde sua função no controle de eixos é armazenar internamente instruções para implementar funções específicas, tais como: lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando o inversor de frequência, que de forma consciente pode gerar uma economia de energia do sistema e também eliminar os picos de partida e rotações desnecessárias dos equipamentos por estes acionados.

Foram demonstradas neste capítulo as razões que levaram ao rápido desenvolvimento da propulsão elétrica nas embarcações *offshore*. Atualmente portanto é comum encontrarmos na área naval o sistema de propulsão com retificadores e inversores devido a suas inúmeras vantagens, que entre outras incluem:

- Alta manobrabilidade;
- Alta durabilidade;
- Baixa corrente de partida;
- Fácil manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELLI, Pedro Luís. **Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis (CLP)**. Rio de Janeiro, Outubro de 1998. Disponível em: <<http://www.ejm.com.br/Downloads/Introducao%20CLP.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

GUEDES, Manuel Vaz. **O Motor de Indução Trifásico – seleção e aplicação**. FEUP, 1994.

LANDER, Cyril W. **Eletrônica industrial: teoria e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, c1997.

MOHAN, Ned; UNDELAND, Tore M; ROBBINS, William P. **Power Electronics – Converters, Applications and Design**. Canadá: 1989.

RASCHID, Muhammad Harunur. **Eletrônica de Potência – Circuitos dispositivos e aplicações**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1999.

São Paulo. Atos Automação Industrial LTDA. **Curso Intermediário de Controladores Programáveis**. Ref. 5-0082.100. Manual Técnico: Fevereiro, 2006.

WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. **Controlador Lógico Programável**. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_program%C3%A1vel>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre **Conversor de Frequência**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Conversor_de_frequ%C3%A2ncia>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. **Motor de Indução**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_indu%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

WEG, Soluções WEG para Indústria Naval Disponível em: <<http://www.weg.com>>.
Acesso em: 20 de Agosto de 2013.