

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**

**TOMAZ LINO PEREIRA BALDUINO**

**IMPORTÂNCIA E FUNCIONAMENTO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS A  
BORDO**

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**TOMAZ LINO PEREIRA BALDUINO**

**IMPORTÂNCIA E FUNCIONAMENTO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS A  
BORDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Professor Engenheiro José Barbosa da Silva Filho, ESP

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**TOMAZ LINO PEREIRA BALDUINO**

**IMPORTÂNCIA E FUNCIONAMENTO DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS A  
BORDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

**Data da Aprovação:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Professor Engenheiro José Barbosa da Silva Filho, ESP

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico esta monografia a minha turma, especialmente aos meus companheiros de camarote que sempre me ajudaram e me inspiraram a ser uma pessoa melhor e a todas as pessoas que me inspiraram a fazer esse trabalho, marcando para sempre minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de estar estudando e me formando nessa instituição, meu orientador, Professor Barbosa pelo incentivo e suporte sempre me fornecendo apoio e instruções para realizá-lo, agradeço especialmente pela sua paciência em me explicar detalhes que desconhecia até então e pela confiança que depositou em mim para realizar este trabalho.

Especialmente aos meus pais, Modestino Lino Balduino sempre atento e compreensivo com suas palavras e que jamais descreditou em mim e Terezinha Pereira Balduino que me ensinou a ser um homem disciplinado e organizado com meus compromissos e com minhas responsabilidades.

Os homens não são prisioneiros do destino, mas apenas prisioneiros de suas próprias mentes.  
(ROOSEVELT, Franklin Delano)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o funcionamento de alguns dispositivos eletrônicos e como sua utilização a bordo tornou processos que antes eram controlados por meios mecânicos, elétricos e hidráulicos, mais precisos e eficientes ao optarem seja por dispositivos puramente eletrônicos ou por equipamentos híbridos que utilizam componentes eletrônicos.

**Palavras-chave:** Eletrônica. Inversor de frequência. *Soft start*. Propulsão. Regulador de velocidade

## **ABSTRACT**

This study presents the operation of some electronic devices applied on board and how their use made process previously controlled mechanical, electrical or Hydraulic more accurate and efficient after choosing electronic devices or hybrid devices using electronic components.

**Keywords:** Electronic. Variable Speed Device. Soft Start. Propulsion. Governor.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de blocos de um CLP	18
Figura 2 - CLP PLC 300 WEG	24
Figura 3 - Diagrama de Blocos de um inversor de frequência	26
Figura 4 - Configuração básica de um Inversor de Frequência	28
Figura 5 - Corrente elétrica de entrada CA	29
Figura 6 - Corrente no barramento CC	29
Figura 7 - Corrente no barramento CC após o capacitor	29
Figura 8 - Modulação por PWM	30
Figura 9 - Inversor de Frequência CFW-08 Weg	32
Figura 10 - Inversor de frequência com controle vetorial de circuito aberto ED3100	32
Figura 11 - Fechamento Estrela e Delta	34
Figura 12 - Diagrama de partida estrela-delta comandado por um temporizador (d1)	35
Figura 13 - Diagrama em bloco de um soft start	35
Figura 14 - Gráfico Comparativo entre os tipos de partidas elétricas	36
Figura 15 - Regulador de Velocidade Hidráulico	39
Figura 16 - Reação dos Contrapesos do regulador de velocidade a carga constante.	41
Figura 17 - Reação dos contrapesos do regulador de velocidade com aumento de carga.	42
Figura 18 - Reação dos contrapesos do regulador de velocidade com redução de carga	44
Figura 19 - Diagrama de bloco de um Regulador de velocidade eletrônico Woodward	48
Figura 20 - Passo do Hélice	50
Figura 21- Hélice de Passo Fixo	51
Figura 22 - Propulsão do navio Titanic	51
Figura 23 - Hélice de Passo Variável	52
Figura 24 - Azimutal tipo z	54
Figura 25 -Azimutal tipo L	54
Figura 26 - Propulsor do tipo Azipod	56
Figura 27 - Sistema de Partida Elétrica de um Azipod	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE CONTROLE</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Elementos de controle</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Conversor</b>	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Transmissores</b>	<b>15</b>
<b>2.5</b>	<b>Transdutor de medição</b>	<b>15</b>
<b>2.6</b>	<b>Comparador</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL(CLP)</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Aplicações</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Estrutura Básica de um CLP</b>	<b>18</b>
3.2.1	unidade Central de Processamento (UCP)	19
3.2.2	memória	19
3.2.3	dispositivos de entrada e saída	20
<b>3.2.3.1</b>	<b><i>características das entradas e saídas - E/S</i></b>	<b>21</b>
3.2.4	terminal de programação	22
<b>3.3</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>INVERSOR DE FREQUÊNCIA</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Esquema básico</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Tipos de inversores de frequência</b>	<b>30</b>
4.3.1	inversor escalar	30
4.3.2	inversor vetorial	30
<b>4.4</b>	<b>Diferença entre os tipos de inversores de frequência</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CHAVE ELETRÔNICA (SOFT START)</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Partida estrela-delta automática</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistemas de partida por chave eletrônica (soft start)</b>	<b>35</b>
5.2.1	funções do soft start	36
<b>6</b>	<b>REGULADOR DE VELOCIDADE</b>	<b>37</b>
<b>6.1</b>	<b>regulador de velocidade hidráulico</b>	<b>38</b>
6.1.2	componentes do regulador de velocidade hidráulico	39
6.1.3	funcionamento básico	40
<b>6.1.3.1</b>	<b><i>carga constante</i></b>	<b>41</b>
<b>6.1.3.2</b>	<b><i>aumento de carga</i></b>	<b>42</b>
<b>6.1.3.3</b>	<b><i>redução de carga</i></b>	<b>43</b>
6.1.4	queda de velocidade	44
<b>6.2</b>	<b>regulador de velocidade eletrônico</b>	<b>45</b>
6.2.1	funcionamento do regulador eletrônico-hidráulico	45
6.2.2	principais vantagens e desvantagens do regulador de velocidade eletrônico em relação ao regulador de velocidade hidráulica	47
6.2.3	componentes Principais e suas Funções	48
<b>7</b>	<b>ELEMENTOS PROPULSORES</b>	<b>49</b>
<b>7.1</b>	<b>Passo</b>	<b>50</b>
<b>7.2</b>	<b>Ângulo da Pá</b>	<b>50</b>
<b>7.3</b>	<b>Tipos de Hélice</b>	<b>50</b>
7.3.1	passo fixo	51
7.3.2	passo Variável	52

7.3.3	azimutais	53
7.3.3.1	<i>tipos de azimutais</i>	53
7.3.3.2	<i>azipod</i>	54
7.3.3.2.1	<i>funcionamento do Sistema Azipod</i>	55
7.3.3.2.2	<i>vantagens e desvantagens do sistema Azipod</i>	56
8	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	58
	<b>REFERÊNCIAS</b>	59

## 1 INTRODUÇÃO

A eletrônica surgiu há muito tempo, em 1837 com a invenção do telégrafo, contudo seu desenvolvimento pleno se deu apenas nos séculos XVII, XVIII e XIX. A área de desenvolvimento da eletrônica desde então se expande exponencialmente abrangendo diversos processos tornando os mais exatos e precisos. De fato dispositivos eletrônicos são cada vez mais presentes no cotidiano seja para o conforto e lazer, ou seja, no controle de processos e por serem cada vez mais comuns no atual cenário seja de trabalho ou rotineiro, dispensamos muitas vezes seu funcionamento e nos tornamos um simples utilizador o qual ou não possui conhecimento algum ou é muito ínfimo frente à complexidade oferecida pelo dispositivo eletrônico. A complexidade refere-se não a dificuldade de entendimento oferecida e sim a grande diversidade de tarefas que o aparelho pode executar.

Devido a sua complexidade e eficiência não demorou após seu desenvolvimento para que a eletrônica fosse adotada a bordo de embarcações a fim de otimizar e facilitar o trabalho dos operadores, contudo essa facilidade faz com que problemas que por muitas vezes são comuns em tais dispositivos sejam ignorados ou tratados com uma magnitude acima da real. Tal situação se dá muitas vezes pela negligência do operador em não querer aprender ou simplesmente não achar a necessidade de estudar os sistemas eletrônicos de bordo.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a importância e funcionamento de sistemas eletrônicos a bordo visto que são cada vez mais comuns no meio de trabalho marítimo e fazer com que o operador saiba ao menos julgar a gravidade de um problema detectando possíveis falhas e defeitos, a fim de otimizar seu trabalho e eficiência de processos controlados eletronicamente. Deixando assim de ser apenas um utilizador como muitos outros e adequar-se cada vez mais ao mercado de trabalho.

Antes de nos focarmos nos equipamentos mais comuns que podem ser encontrados a bordo devemos definir certos sistemas e os elementos que os compõem para que posteriormente possamos compreender melhor individualmente cada dispositivo.

## **2 SISTEMA DE CONTROLE**

Sistema de controle é um processo acionado por um dispositivo de controle, que determina o resultado desejado e, ao longo do tempo, indica o resultado obtido e corrige sua ação para atingir, o mais rápido possível, o valor desejado é um determinado sistema que possui um comportamento dinâmico em que se busca obter o controle de uma determinada variável ou produto através da automação. É uma operação ou uma série de operações sobre materiais sólidos ou fluidos, na (s) qual (is) se pretende conseguir que estes materiais se mantenham em um estado de atuação adequado a uma qualidade preestabelecida. Exemplo: água de alimentação de uma caldeira, sistema de óleo lubrificante de um motor Diesel, etc.

### **2.1 Elementos de controle**

São divididos em três grupos: elementos primários, elementos secundários e elementos finais de controle.

a) elementos primários são dispositivos com os quais se consegue detectar (medir) alterações nas variáveis do processo.

Exemplo: sensores de pressão, indicadores de temperatura, etc. Posteriormente os sensores serão tratados com maior enfoque, tendo em vista sua importância para automação;

b) elementos secundários são dispositivos que recebem e tratam o sinal do elemento primário.

Exemplo: transmissores, controladores e etc.; e

c) elemento final de controle - É quem atua na variável manipulada em função de um sinal de comando/controlado recebido. Normalmente é uma válvula.

### **2.2 Sensor**

Um sensor é geralmente definido como um dispositivo que recebe e responde a um estímulo ou um sinal. Muitas vezes um sensor é composto de um transdutor e uma parte que converte a energia resultante em um

sinal elétrico. Podem ser de indicação direta (como um termômetro de mercúrio ou um medidor elétrico) ou em par com um indicador (algumas vezes indiretamente com um conversor de analógico para digital, um computador e um *display*) de modo que o valor detectado se torne legível pelo homem. É o elemento que detecta o valor da variável que deve ser controlada. A informação mensurada é enviada ao comparador do controlador. O sinal emitido, às vezes, precisa ser amplificado ou convertido. Na automação, o que há de mais avançado são os sensores, dispositivos capazes de detectar sinais ou de receber estímulos de natureza física (tais como: calor, fumaça, pressão, vibração, velocidade, etc.), utilizados em sistemas de controle, de alarme, de sondagem, entre outros. Baseado nessas informações, o sistema calcula as ações corretivas, com muita eficiência.

Quanto à classificação, os sensores podem ser:

a) analógicos: fornecem um sinal de saída contínuo, que é proporcional à variável que está sendo acompanhada. Este sinal pode ser dado em forma de corrente elétrica ou tensão elétrica; fornece valores de pressão, temperatura, etc.;

b) digitais: são na realidade contatos que se abrem, quando o contato é do tipo normalmente fechado (*normally closed* – NC), ou se fecham quando este é do tipo normalmente aberto (*normally opened* – NO), quando determinada variável atinge uma determinada condição limite; é o caso de pressostatos e termostatos; e

c) intrinsecamente seguros: são instalados em áreas consideradas de risco. Cabe ressaltar que, estes sensores são reconhecidos facilmente, pois estão conectados a fios e cabos na cor azul. Como enviam sinais de baixa energia é necessário que, já na área considerada de segurança, eles sejam amplificados, para sua posterior utilização. Em todos os sistemas de controle existe um denominador comum, sensores, sem os sensores não é possível quantificar as grandezas físicas.

### **2.3 Conversor**

Tem a função de converter o sinal recebido. Pode converter sinal elétrico em pneumático; elétrico em hidráulico; analógico em digital; e vice-versa. Normalmente são instalados entre o sensor e o comparador, ou entre o controlador e o elemento final de controle.

### **2.4 Transmissores**

Em muitos casos os sensores e transdutores de medida estão afastados dos elementos de controle. A solução habitual consiste na concentração dos elementos de controle (controladores ou computadores) ou de leitura e registro numa única sala (sala de controle). É então necessário transmitir sinais analógicos e, em certos casos, digitais, representativos dos valores das grandezas medidas. Esta transmissão faz-se com instrumentos designados como transmissores de sinal.

### **2.5 Transdutor de medição**

O transdutor é qualquer dispositivo capaz de transformar um tipo de sinal em outro para permitir o controle de processos físicos, ou realizar uma medição, etc.

### **2.6 Comparador**

Sua função é comparar o valor medido com o valor desejado, gerando um sinal de erro, cuja amplitude é proporcional à diferença algébrica entre o sinal de referência (set-point) e o sinal de realimentação (feedback).

Controlador - Sua função é gerar um sinal de controle, o qual irá posicionar o elemento final de controle, a fim de manter a variável controlada dentro do valor desejado. Esse sinal varia de amplitude em

função do sinal de erro enviado pelo comparador. É desejado que esta ação do controlador seja feita no menor tempo possível.



### 3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O CLP foi projetado a fim de substituir painéis de relés, já que os painéis requeriam constante manutenção na fiação elétrica, o que gerava grandes custos a grande vantagem do CLP trata-se do fato dele ser reprogramável.

O CLP é um dispositivo eletrônico digital que controla máquinas utilizando uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando-os, através de módulos de entradas e saídas.

É composto por um sistema microprocessado (microprocessador), um Programa Monitor, uma Memória de Programa, uma Memória de Dados, uma ou mais Interfaces de Entrada, uma ou mais Interfaces de Saída e Circuitos Auxiliares, que serão discriminados a seguir.

Alimentando o C.L.P., tem-se uma fonte de alimentação que converte a tensão da rede elétrica para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos (+5 VCC – tensão contínua – para o microprocessador, memórias e circuitos auxiliares e +/-12 VCC para a comunicação com o programador ou computador), mantendo a carga da bateria, nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e Memória do tipo *Random Access Memory* (R.A.M.).

#### 3.1 Aplicações

O controlador programável existe para automatizar processos, sejam de sequenciamento intertravamento, controle de processos, batelada, etc.

Este equipamento tem seu uso tanto na área de automação da manufatura, de processos contínuos, elétrica, predial, entre outras.

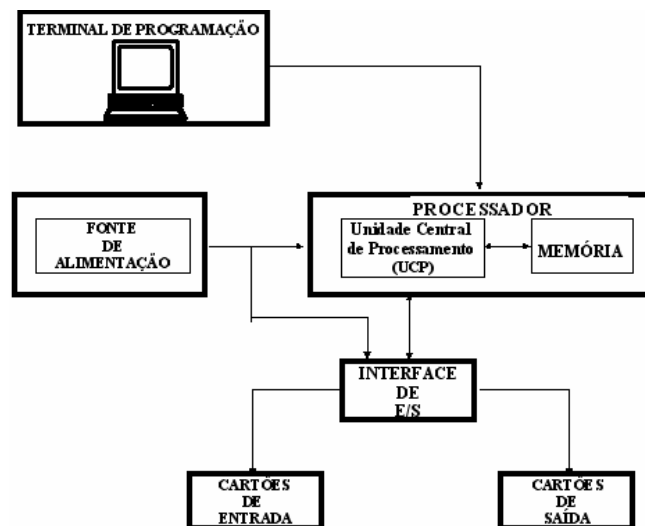
Praticamente não existem ramos de aplicações industriais onde não se possa aplicar os CLPs, entre elas tem-se:

Máquinas industriais (operatrizes injetoras de plástico, têxteis, calçados); equipamentos industriais para processos (siderurgia, papel e celulose, petroquímica, química, alimentação, mineração, etc ); equipamentos para controle de energia (demanda fator de carga); controle de processos com realização de sinalização, intertravamento e controle P.I.D. (Proporcional Integral e derivativo); aquisição de dados de supervisão em: fábricas, prédios inteligentes, etc.; bancadas de teste automático de componentes industriais

### 3.2 Estrutura básica de um CLP

A seguir é ilustrado a estrutura básica de funcionamento de um CLP:

Figura 1 - Diagrama de blocos de um CLP



Fonte: ebah.com.br

Dentre as partes ilustradas temos: UCP(ou CPU),memória, entrada e saída(E/S) e o terminal de programação.

### 3.2.1 unidade central de processamento (UCP)

A unidade central de processamento (UCP) é responsável pelo processamento do programa, isto é, coleta os dados dos cartões de entrada, efetua o processamento segundo o programa do usuário, armazenado na memória, e envia o sinal para os cartões de saída como resposta ao processamento.

Geralmente, cada CLP tem uma UCP, que pode controlar vários pontos de E/S (entradas e saídas) fisicamente compactadas a esta unidade. CLPs podem constituir uma unidade separada, conectada a módulos onde se situam cartões de entrada e saída.

### 3.2.2 memória

O sistema de memória é uma parte de vital importância no processador de um controlador programável, pois armazena todas as instruções assim como os dados necessários para executá-las.

A arquitetura de memória de um controlador programável pode ser constituída por diferentes tipos de memória. A memória do computador é onde se armazenam os dados que devem ser manipulados pelo computador (chamada memória de dados) e também onde está armazenado o programa do computador (memória de programa).

Aparentemente não existe uma diferença física entre as memórias de programa, apenas utilizam-se memórias fixas para armazenar dados fixos ou programas e memórias que podem ser alteradas pelo sistema para armazenar dados que podem variar de acordo com o programa. Existem diversos tipos de memórias que podem ser utilizadas pelo computador: fita magnética, disco magnético e até memória de semicondutor em forma de circuito integrado.

As memórias a semicondutores podem ser divididas em dois grupos diferentes:

- Memória ROM (*read only memory*) memória apenas de leitura.
- Memória RAM (*random access memory*) memória de acesso aleatório.

As memórias ROM são designadas como memória de programa por serem memórias que não podem ser alteradas em estado normal de funcionamento, porém têm a vantagem de não perderem as suas informações mesmo quando é desligada sua alimentação.

### 3.2.3 dispositivos de entrada e saída

Os dispositivos de entrada e saída são os circuitos responsáveis pela interação entre o homem e a máquina; são os dispositivos por onde o operador pode introduzir informações na máquina ou por onde a máquina pode enviar informações ao operador. Como dispositivos de entrada podemos citar os seguintes exemplos: leitor de fitas magnéticas, leitor de disco magnético, leitor de cartão perfurado, leitor de fita perfurada, teclado, painel de chaves, conversor A/D, mouse, *scanner*, etc. Estes dispositivos tem por função a transformação de dados em sinais elétricos codificados para a unidade central de processamento.

Como dispositivos de saída podemos citar os seguintes exemplos: gravador de fitas magnéticas, gravador de discos magnéticos, perfurador de cartão, perfurador de fita, impressora, vídeo, display, conversor D/A, canal de som, etc. Todos eles tem por função a transformação de sinais elétricos codificados pela máquina em dados que possam ser manipulados posteriormente ou dados que são imediatamente entendidos pelo operador.

Estes dispositivos são conectados à unidade central de processamento por intermédio de "portas" que são interfaces de comunicação dos dispositivos de entrada e saída.

A estrutura de E/S (entradas e saídas) é encarregada de filtrar os vários sinais recebidos ou enviados para os componentes externos do sistema de controle. Estes componentes ou dispositivos no campo podem ser botões, chaves de fim de curso, contatos de relés, sensores

analógicos, termopares, chaves de seleção, sensores indutivos, lâmpadas sinalizadoras, display de LEDs, bobinas de válvulas direcionais elétricas, bobinas de relés, bobinas de contadoras de motores, etc.

Em ambientes industriais, ou até mesmo em embarcações, estes sinais de E/S podem conter ruído elétrico, que pode causar operação falha da UCP se o ruído alcançar seus circuitos. Desta forma, a estrutura de E/S protege a UCP deste tipo de ruído, assegurando informações confiáveis. A fonte de alimentação das E/S pode também constituir-se de uma única unidade ou de uma série de fontes, que podem estar localizadas no próprio compartimento de E/S ou constituir uma unidade à parte.

Os dispositivos do campo são normalmente selecionados, fornecidos e instalados pelo usuário final do sistema do CLP. Assim, o tipo de E/S é determinado, geralmente, pelo nível de tensão (e corrente, nas saídas) destes dispositivos. Os circuitos de E/S são tipicamente fornecidas pelos fabricantes de CLPs em módulos, cada um com 4, 8, 16 ou mais circuitos.

Além disso, a alimentação para estes dispositivos no campo deve ser fornecida externamente ao CLP, uma vez que a fonte de alimentação do CLPs é projetada para operar somente com a parte interna da estrutura de E/S e não dispositivos externos.

### ***3.2.3.1 características das entradas e saídas - e/s***

A saída digital basicamente pode ser de quatro tipos: transistor, triac, contato seco e TTL podendo ser escolhido um ou mais tipos. A entrada digital pode se apresentar de várias formas, dependendo da especificação do cliente, contato seco, 24 VCC, 110 VCA, 220 VCA, etc.

A saída e a entrada analógicas podem se apresentar em forma de corrente (4 a 20 mA, 0 a 10 mA, 0 a 50 mA), ou tensão (1 a 5 Vcc, 0 a 10 VCC, -10 a 10 VCC etc). Em alguns casos é possível alterar o ranger através de software.

Os módulos de entrada são interfaces entre os sensores localizados no campo e a lógica de controle de um controlador programável.

Estes módulos são constituídos de cartões eletrônicos, cada qual com capacidade para receber em certo número de variáveis.

Pode ser encontrado uma diferentes tipos de cartões, para atender as mais variadas aplicações nos ambientes industriais. Mas apesar desta grande variedade, os elementos que informam a condição de grandeza aos cartões, são do tipo:

- 1-Elemento discreto: Trabalha com dois níveis definidos;
- 2-Elemento analógico: Trabalha dentro de uma faixa de valores.

Os módulos de saída são elementos que fazem a interface entre o processador e os elementos atuadores.

Estes módulos são constituídos de cartões eletrônicos, com capacidade de enviar sinal para os atuadores, resultante do processamento da lógica de controle. Os cartões de saída irão atuar basicamente dois tipos:

- 1-Atuadores discretos: Pode assumir dois estados definidos.
- 2-Atuadores analógicos: Trabalha dentro de uma faixa de valores.

#### 3.2.4 terminal de programação

O terminal de programação é um dispositivo (periférico) que conectado temporariamente ao CLP, permite introduzir o programa do usuário e configuração do sistema. Pode ser um equipamento dedicado, ou seja, um terminal que só tem utilidade como programador de um determinado fabricante de CLP, ou um software que transforma um computador pessoal em um programador.

Neste periférico, através de uma linguagem, na maioria das vezes, de fácil entendimento e utilização, será feita a codificação das informações vindas do usuário numa linguagem que possa ser entendida pelo processador de um CLP.

### 3.3 Funcionamento

Um controlador lógico programável tem seu funcionamento baseado num sistema de microcomputador onde se tem uma estrutura de software que realiza continuamente ciclos de varredura. Um CLP tem dois modos de operação:

1-Programação: Neste estado o CLP *não* executa programa, isto é, não assume nenhuma lógica de controle, ficando preparado para ser configurado ou receber novos programas ou até modificações de programas já instalados. Este tipo de programação é chamada de *off-line* (fora de linha).

2-Execução: Estado em que o CLP assume a função de execução do programa do usuário. Neste estado, alguns controladores, podem sofrer modificações de programa. Este tipo de programação é chamada *on-line* (em linha).

Quando em estado de execução o CLP realiza uma rotina que está gravada em seu sistema operacional que é são: limpeza da memória imagem, teste da memória RAM e teste de execução do programa.

Após executar o teste acima o CLP passa a fazer uma varredura (ciclo) constante, isto é, uma leitura sequencial das instruções em *loop* (laço).

Entrando no *loop*, o primeiro passo a ser executado é a leitura dos pontos de entrada. Com a leitura do último ponto, irá ocorrer, a transferência de todos os valores para a chamada memória ou tabela imagem das entradas.

Após a gravação dos valores na tabela imagem, o processador inicia a execução do programa do usuário de acordo com as instruções armazenadas na memória.

Terminando o processamento do programa, os valores obtidos neste processamento, serão transferidos para a chamada memória ou tabela imagem das saídas, como também a transferência de valores de outros operandos, como resultados aritméticos, contagens, etc.

Ao término da atualização da tabela imagem, será feita a transferência dos valores da tabela imagem das saídas, para os cartões de saída, fechando o loop. Neste momento é iniciado um novo loop.

Para a verificação do funcionamento da UCP, é estipulado um tempo de processamento, cabendo a um circuito chamado de *Watch Dog Time* supervisioná-lo. Ocorrendo a ultrapassagem deste tempo máximo, o funcionamento da UCP será interrompido, sendo assumido um estado de erro.

O termo varredura ou *scan*, são usados para um dar nome a um ciclo completo de operação (*loop*). O tempo gasto para a execução do ciclo completo é chamado Tempo de Varredura, e depende do tamanho do programa do usuário, e a quantidade de pontos de entrada e saída.

Figura 2 -CLP PLC 300 WEG



Fonte: WEG



## 4 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência é um dispositivo eletrônico que converte a tensão da rede alternada senoidal em tensão contínua de amplitude e frequência constantes e finalmente convertem esta última, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Permitem o acionamento em velocidade variável de motores elétricos. Com isto, sistemas que antes usavam motores CC, pela facilidade de controle, hoje podem usar motores CA de indução graças aos inversores de frequência, também chamados de Conversores de frequência. Em paralelo ao avanço da eletrônica de potência, a microeletrônica, por meio de microprocessadores e microcontroladores, tem auxiliado muito o acionamento de máquinas CA, permitindo a implementação de funções complexas num tempo de processamento cada vez mais curto. Isto tem permitido a implementação de sofisticados algoritmos de controle que possibilitam o acionamento de alto desempenho com o emprego de motores de indução de série.

A título de exemplo, podemos citar que motores de indução acionados por meio de inversores de frequência podem substituir, com vantagens, os sistemas de controle de fluxo com válvulas (bombas) ou *dampers* (ventiladores).

### 4.1 Funcionamento

Para entender o funcionamento de um Inversor de frequência, é necessário, antes de tudo, saber a função de cada bloco que o constitui. Ele é ligado na rede elétrica, que pode ser monofásica ou trifásica (a bordo a rede é trifásica), e em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência diferente daquela da rede. Para tanto, o inversor tem como primeiro estágio, um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua. Após isso, existe um segundo estágio capaz de realizar o inverso, ou seja, a transformação de uma tensão CC para uma tensão CA (conversor), e com a frequência desejada

pela carga. Na rede de entrada a frequência é fixa (60 Hz ou 50 Hz) e a tensão é transformada pelo retificador de entrada em contínua pulsada (retificação de onda completa). O Capacitor (filtro) transforma-a em tensão contínua pura de valor aproximado de:

$$V_{dc} = \sqrt{2} \times V_{rede}$$

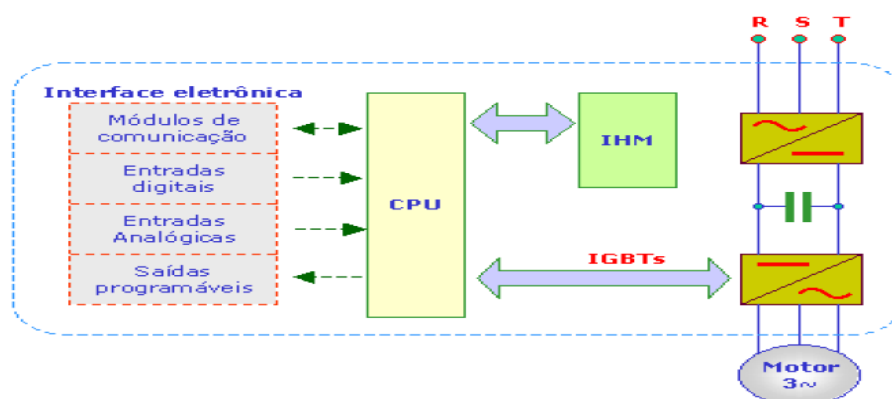
Esta tensão contínua é conectada ciclicamente aos terminais de saída pelos dispositivos semicondutores do inversor, transistores ou tiristores, que funcionam como chaves estáticas.

O controle desses dispositivos semicondutores é feito pelo circuito de comando, de modo a obter um sistema de tensão pulsada, cujas frequências fundamentais estão defasadas de  $120^\circ$ . A tensão é escolhida de modo que a relação tensão/frequência seja constante, resultando em operação com fluxo constante e por via de consequência, manutenção da máxima capacidade de sobrecarga momentânea do motor.

#### 4.2 Esquema básico

É apresentado a seguir o diagrama em blocos de um inversor de frequência e seus componentes básicos, posteriormente explicados:

Figura 3 - Diagrama de Blocos de um inversor de frequência



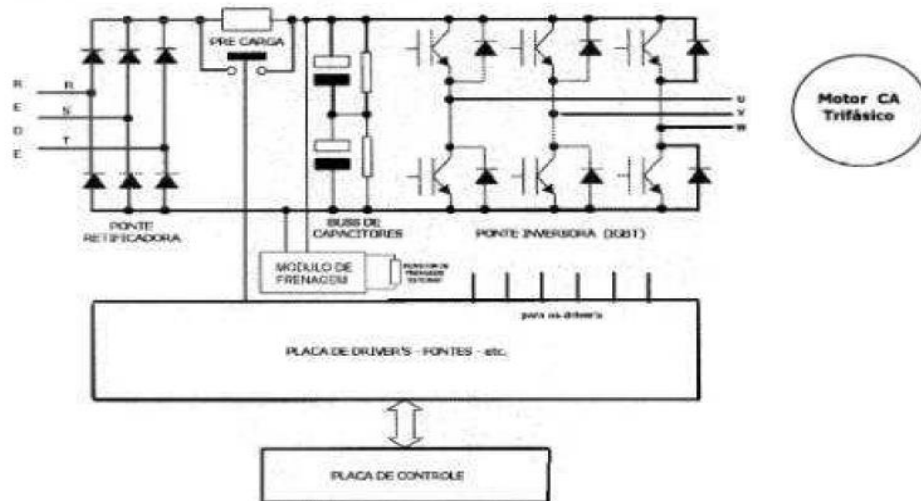
Unidade Central de Processamento (CPU) – Tem como base de processamento um microcontrolador ou ainda um microprocessador, porém este último necessita de memórias agregadas. Pode ser considerado o cérebro do inversor de frequência, pois é neste bloco que todos os dados do sistema e parâmetros ficam armazenados. A CPU também é responsável pela geração da lógica de pulso para os transistores.

Interface Homem Máquina (IHM) – É o bloco de interação entre o usuário e a máquina é neste bloco que ocorre a parametrização, ou seja, é através deste bloco que as informações como frequência e torque são inseridas no inversor, além de permitir a visualização do que está ocorrendo.

Interface Eletrônica – É o bloco que permite a comunicação com os dispositivos externos. Neste bloco, poderá existir: módulos de redes de comunicação, entradas para sinais analógicos de 0 a 10v ou 4 a 20 mA, entradas digitais, saídas programáveis, etc.

Etapa de Potência - É constituída pelo retificador trifásico de potência que através do barramento CA, alimenta um módulo com seis transistores IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) do circuito intermediário e geram uma saída PWM (*Pulse With Modulation*) para a carga, aproximando sua forma de onda à senoidal. Esta etapa é comum a todos os inversores.

Figura 4 - Configuração básica de um Inversor de Frequência

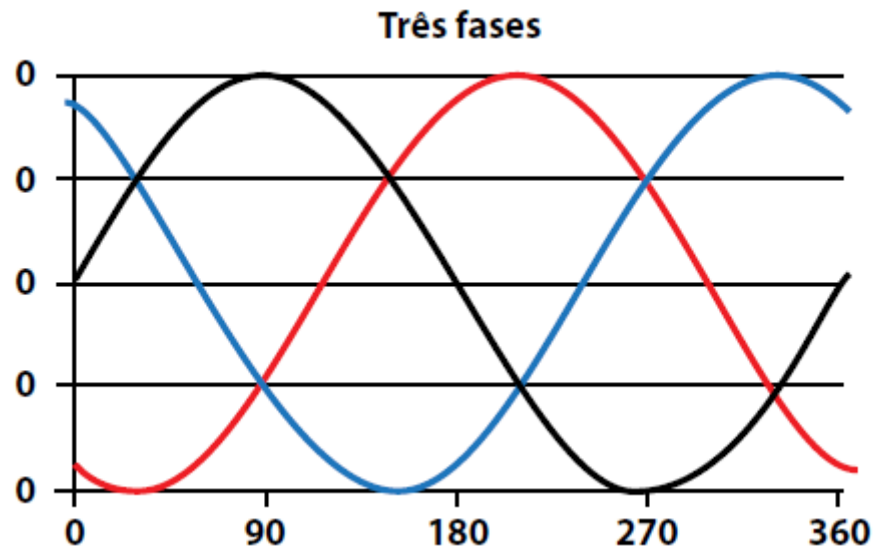


Fonte: [www.inicepg.univap.br](http://www.inicepg.univap.br)

- Circuito de entrada (ponte retificadora não controlada)
- Circuito de pré - carga (resistor, contator ou relé)
- Circuito intermediário (banco de capacitores Buss CA, resistores de equalização)
- Circuito de Saída "inversor" (ponte trifásica de IGBT)
- Placa de controle (microprocessada)
- Placa de *driver's* (disparo dos IGBT, fontes de alimentação, etc.)
- Réguas de bornes de interligação (controle de potência)
- Módulo de frenagem (interno ou externo)

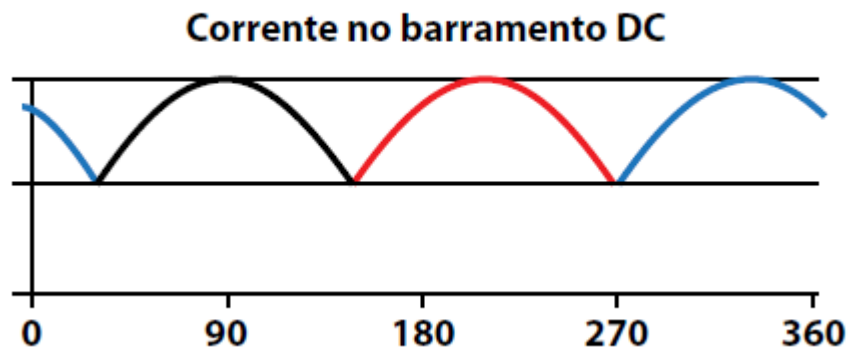
A transformação de corrente CA em CC e em pulsos PWM de um inversor de frequência pode ser ilustrada através dos gráficos a seguir:

Figura 5 - Corrente elétrica de entrada CA



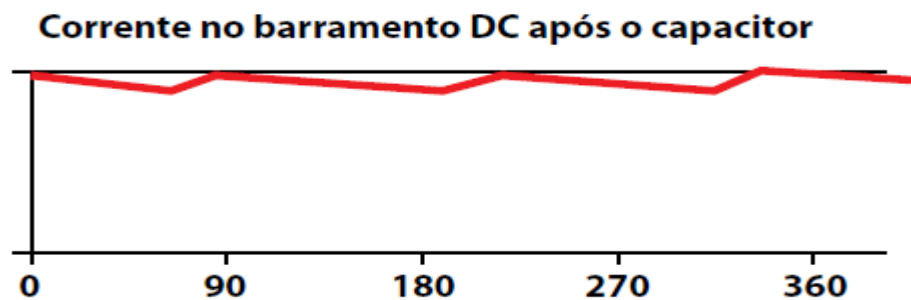
Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

Figura 6 - Corrente no barramento CC



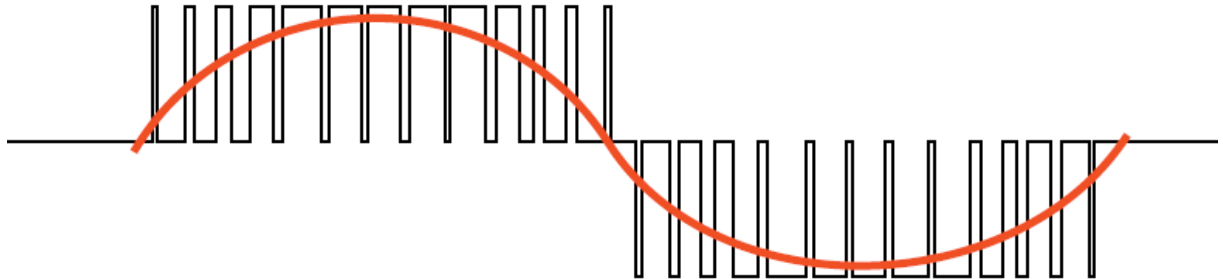
Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

Figura 7 - Corrente no barramento CC após o capacitor



Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

Figura 8 - Modulação por PWM



Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

### 4.3 Tipos de inversores de frequência

#### 4.3.1 inversor escalar

Em linhas gerais, podemos dizer que os inversores escalares baseiam-se em equações de regime permanente. A lógica de controle utilizada é a manutenção da relação  $V/F$  constante. Apresentam um desempenho dinâmico limitado e usualmente são empregados em tarefas simples, como o controle da partida e da parada e a manutenção da velocidade em um valor constante (regulação).

#### 4.3.2 inversor vetorial

A lógica de controle empregada baseia-se em equações dinâmicas do motor.

Assim, embora a programação de controle seja mais complexa do que aquela correspondente ao controle escalar, o desempenho dinâmico é bem superior a este. A ideia central é promover o desacoplamento entre o controle do fluxo e o controle da velocidade por meio de transformações de variáveis. Com esta técnica de controle, os inversores podem ser

empregados em tarefas complexas, que exijam grande precisão e dinâmicas rápidas do ponto de vista de controle.

Os inversores Vetoriais podem ser divididos em duas categorias: aqueles que utilizam a realimentação física da velocidade, obtida de dispositivos transdutores e aqueles que não empregam a realimentação física da velocidade, fazendo uso de estimadores de velocidade. A realimentação ou *Feedback*, permite "enxergar" o movimento do eixo do motor possibilitando controlar a velocidade e o torque com alta precisão mesmo em velocidades muito pequenas, próximas de zero. A realimentação da velocidade é realizada utilizando um gerador de pulsos, conhecido com *Encoder*. Alguns equipamentos permitem a utilização dos dois modos, sendo necessário uma placa opcional para a operação de malha fechada.

A operação sem a realimentação da velocidade é também conhecida como *Sensorless*. Nesse caso, o algoritmo de controle torna-se mais complexo pois o inversor deve calcular através de artifícios matemáticos a velocidade do motor. A operação sem realimentação possui performance inferior à operação com realimentação.

Os Inversores Vetoriais necessitam da programação de todos os parâmetros do motor como, resistências elétricas, indutâncias, correntes nominais do rotor e estator, dados esses normalmente não encontrados com facilidade. Para facilitar o *set-up*, alguns inversores dispõem de sistemas de ajustes automáticos também conhecidos como *Auto-tunning*, não sendo necessário a pesquisa de dados sobre o motor.

#### **4.4 Diferença entre os tipos de inversores de frequência**

A principal diferença entre os inversores Escalares e os Vetoriais deve-se a capacidade dos inversores vetoriais imporem o torque necessário ao motor, de forma precisa e rápida permitindo uma elevada velocidade de resposta dinâmica a variações bruscas de carga.

Os Inversores Escalares apresentam uma resposta dinâmica bem mais lenta, demorando mais para reagir a qualquer alteração de velocidade ocorrida ou solicitada.

Figura 9 - Inversor de Frequência CFW-08 Weg



Fonte: WEG

Figura 10 - Inversor de frequência com controle vetorial de circuito aberto ED3100



Fonte: easy-drive



## 5 Chave eletrônica (*Soft Start*)

Com o avanço da eletrônica houve a criação de uma chave de partida a estado sólido, que consiste em um conjunto de pares de tiristores (SCR) (ou combinações de tiristores/díodos), um em cada borne de potência do motor. O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável aos terminais do motor durante a aceleração e a desaceleração.

No final do período de partida ou parada, ajustável tipicamente entre 2 e 30 segundos, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração e desaceleração suave ou uma rampa ascendente e descendente, em vez de ser submetida a incrementos ou saltos repentinos.

Com isso, conseguimos manter a corrente de partida (na linha) próxima da nominal e com suave variação.

Além da vantagem do controle da tensão (corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco, como nas chaves mecânicas. Esse é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil é mais longa.

De acordo com o funcionamento de um tiristor, para que haja aceleração, ocorre um crescimento da tensão de pico de uma tensão alternada, até chegar ao valor total da tensão de pico. Já na desaceleração, ocorre a diminuição do valor de pico da tensão alternada até chegar a zero.

O sistema de partida que geralmente é utilizado abordo é um sistema de partida estrela-delta que está sendo gradativamente substituído pelo *soft start*, veja a seguir como se dá o sistema de partida e entenda porque está sendo empregado o sistema de chave eletrônica.

### 5.1 Partida estrela-delta automática

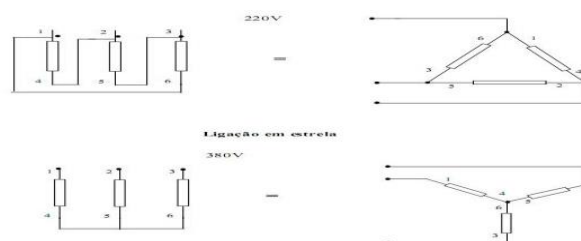
Um motor elétrico ao realizar a partida necessita romper sua inércia mecânica e para que isso aconteça há um consumo de corrente elétrica conhecida como corrente de partida, que pode variar de 6 a 10 vezes a corrente nominal do motor o que pode avariar o motor por esquentar demais e diminuir sua vida útil, a mesma corrente é responsável pelo torque do motor elétrico, aumentando excessivamente o esforço mecânico requerido pelo motor para romper sua inércia sem falar do pico de consumo da energia elétrica toda vez que se fosse necessário ligar um motor elétrico iria aumentar demasiadamente, portanto para diminuir o consumo utiliza-se a partida estrela-delta.

Na partida executa-se a ligação estrela no motor (apto a receber tensão de estrela), porém ele é alimentado com tensão de triângulo, ou seja, com a tensão da rede. Assim, as bobinas do motor recebem 58 % da tensão que deveriam receber.

No instante em que o motor atinge aproximadamente 90% da sua velocidade nominal é feita a comutação, passando o motor a ser ligado em triângulo, assim as bobinas passam a receber a tensão nominal.

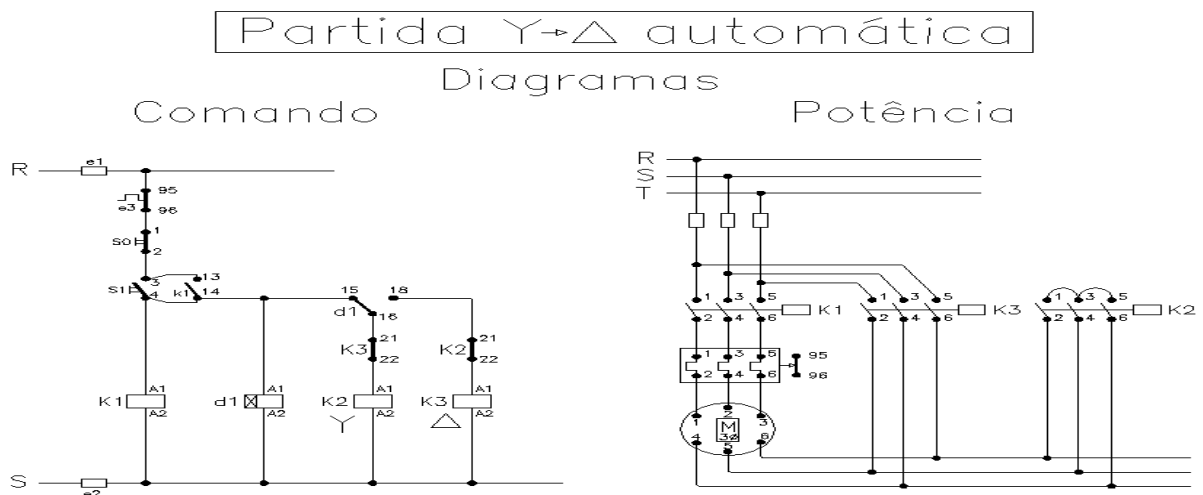
Utiliza-se um temporizador para que a ligação do motor seja modificada para delta. A ligação delta vai fornecer uma tensão menor à rede sem falar que sua ligação não possui fase comum, diferentemente da ligação estrela, o que permite o funcionamento contínuo da rede elétrica em caso de perda de uma fase mesmo que com sobrecarga.

Figura 11 - Fechamento Estrela e Delta



Fonte: [ensinandoeletrica.blogspot.com.br](http://ensinandoeletrica.blogspot.com.br)

Figura 12 - Diagrama de partida estrela-delta comandado por um temporizador (d1)

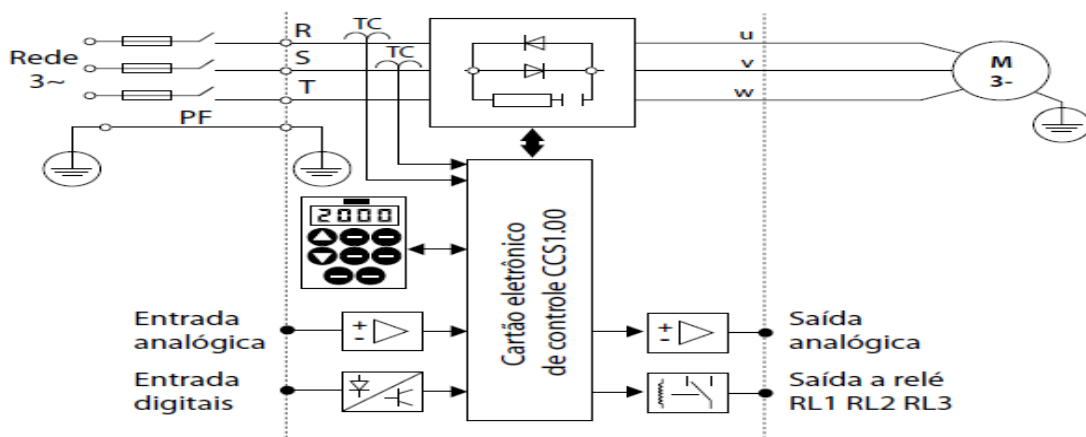


Fonte:wikipedia

**5.2 Sistemas de partida por chave eletrônica (soft start)**

O funcionamento do soft-starter está baseado na utilização de uma ligação de tiristores em ponte, comandada por uma placa eletrônica, para o ajuste da tensão de saída.

Figura 13 - Diagrama em bloco de um soft start



Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

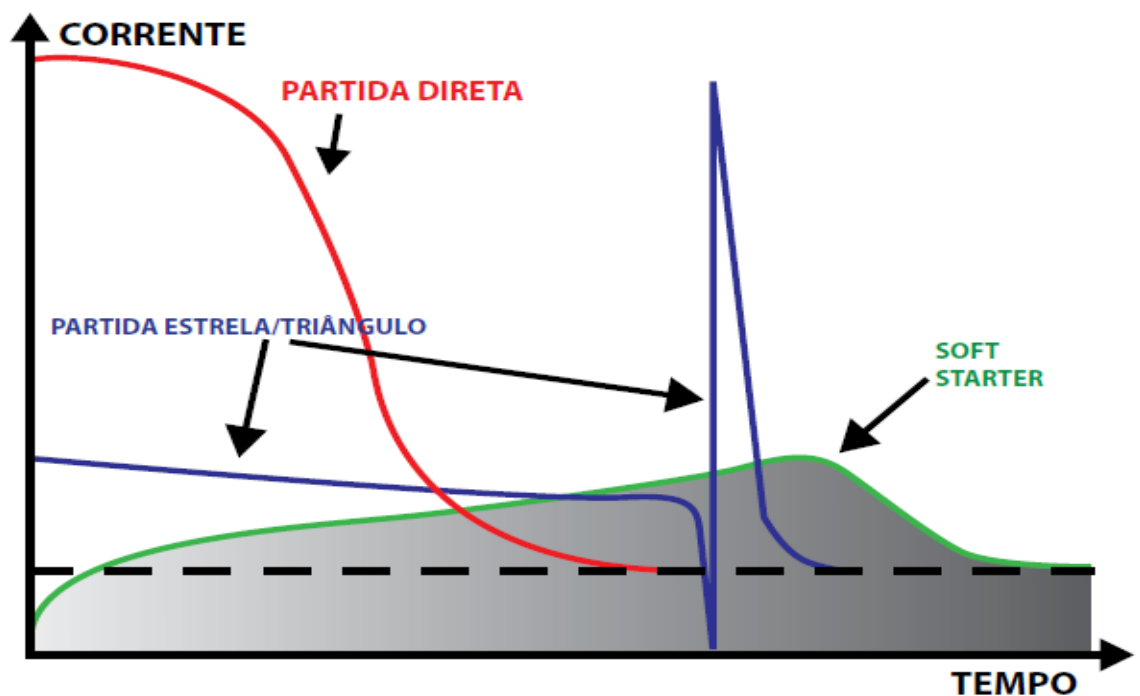
O soft-starter controla a tensão da rede por meio do circuito de potência pelos tiristores, que varia o ângulo de disparo, variando a tensão eficaz do motor elétrico.

O principal objetivo do funcionamento do *soft-starter* é reduzir a tensão de partida de um motor elétrico. Como o torque é proporcional a essa tensão, o motor parte com torque reduzido.

### 5.2.1 funções do soft start

As principais funções do soft-starter são: controle do tempo de aceleração e desaceleração do motor, limitação de corrente, conjugado de partida, frenagem por corrente contínua, proteção do acionamento por sobrecarga, proteção do motor contra aquecimento e detecção de desequilíbrio ou falta de fase do motor.

Figura 14 - Gráfico Comparativo entre os tipos de partidas elétricas



Fonte: SENAI, Técnicas de controle soft-starters e inversores.

## 6 REGULADOR DE VELOCIDADE

O regulador de velocidade é um equipamento que tem por finalidade manter constante a velocidade do motor, para isso ele atua na haste de regulagem das bombas injetoras. Esse dispositivo atuará em duas situações distintas regulando a velocidade do motor de combustão principal (MCP) e a velocidade do motor que aciona o gerador de energia elétrica, o motor de combustão auxiliar (MCA).

No caso do MCP, a velocidade é ajustada inicialmente por uma alavanca ou por um volante. Qualquer um desses dispositivos, atuando na haste de regulagem das bombas injetoras, controla a quantidade de combustível injetada por ciclo em cada cilindro do motor.

Admitindo-se não haver variação na carga, a velocidade do motor permanece constante para uma dada posição da alavanca ou volante de aceleração. Infelizmente, essa condição só é mantida com o navio navegando em águas tranquilas. Nas condições de mau tempo, com o navio “caturrando”, por exemplo, o hélice sobe e desce, podendo até sair da água ou ficar bem próximo da superfície. Nesse caso, a velocidade do motor pode aumentar perigosamente. Uma situação parecida ocorre quando há quebra de alguma parte do hélice ou quando ele se perde do eixo. Para manter a velocidade do motor, nas condições de mau tempo, ou no caso de problemas no hélice como os que acabamos de mencionar, o regulador de velocidade é extremamente importante. Quando a velocidade tende a disparar, ele atua na haste de regulagem das bombas injetoras, reduzindo a quantidade de combustível injetada nos cilindros do motor.

No caso do motor que aciona o gerador de energia elétrica (MCA), a situação é um pouco diferente. Em primeiro lugar, o regulador de velocidade tem que ser “isócrono”, que é um tipo de regulador que mantém constante a velocidade do motor, independentemente das variações de carga. Quando alguém, por exemplo, liga uma bomba, um compressor ou qualquer máquina acionada por motor elétrico a bordo, a carga do gerador aumenta e a quantidade de combustível que estava sendo

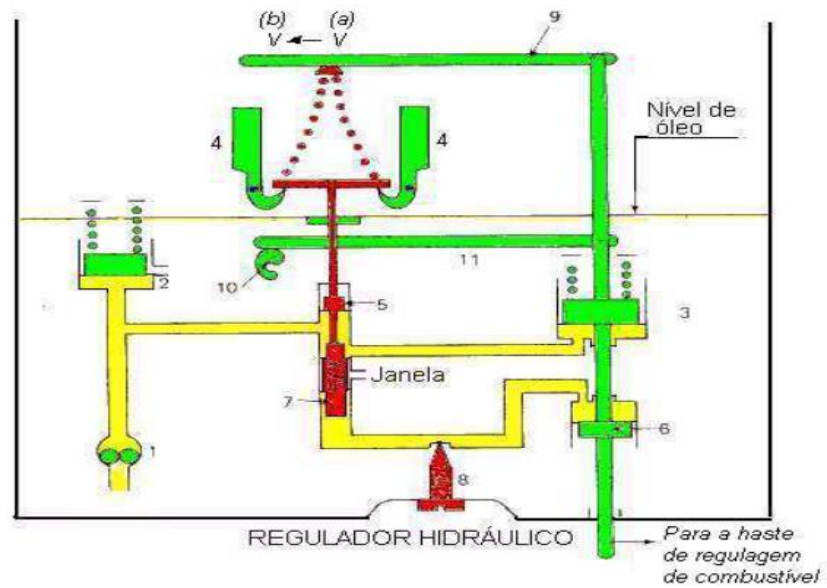
fornecida ao MCA torna-se insuficiente para a nova potência requerida. Por isso, a velocidade do motor tende a cair. Nesse caso, o regulador de velocidade deve, automaticamente e em poucos segundos, acionar a haste de regulação do combustível no sentido de abrir mais o débito das bombas injetoras, para que a potência do motor aumente e a sua velocidade volte a ser igual à que ele vinha desenvolvendo antes da variação da carga.

Portanto, diferentemente do motor propulsor, que pode ter a sua velocidade ajustada para vários valores, como, por exemplo, em um regime de manobras, o regulador do MCA deve manter sempre aquela velocidade preestabelecida para o motor, compatível à frequência do sistema elétrico. Na exposição que acabamos de fazer, consideramos um aumento de carga. Se agora parássemos um compressor, uma bomba, ou qualquer outra máquina acionada por motor elétrico, a carga diminuiria e a velocidade do motor tenderia a aumentar. Isso seria perfeitamente natural, porque a quantidade de combustível, e, conseqüentemente a potência do motor, se tornariam excessivas para a nova condição de carga. Por isso, o regulador de velocidade teria de, em poucos segundos, absorver a alteração, processá-la e enviar um sinal de saída para a haste de regulação das bombas injetoras, agora no sentido de diminuir o débito das mesmas e retomar o valor da velocidade normal do motor. Será abordado o funcionamento de dois reguladores de velocidade o regulador hidráulico e o regulador de velocidade eletrônico.

### **6.1 Regulador de velocidade hidráulico**

Este regulador é composto de três seções principais: uma para sentir a velocidade e mantê-la constante, uma de força, que atua na haste de regulação que controla o fluxo de combustível para o motor; e outra que compensa a diferença no tempo de reação entre o motor e o regulador.

Figura 15 - Regulador de Velocidade Hidráulico



Fonte: Máquinas de Combustão Interna do curso APMQ a distância

### 6.1.2 componentes do regulador de velocidade hidráulico

1. Bomba de Engrenagem
2. Acumulador
3. Pistões de Força
4. Contrapesos giratórios
5. Válvula Piloto
6. Pistão Compensador Atuador
7. Pistão Compensador Receptor
8. Válvula de Agulha
9. Alavanca de ajuste da queda de velocidade
10. Came ou Excêntrico do limitador de carga

### 6.1.3 funcionamento básico

A bomba de engrenagem, assim como os contrapesos giratórios, são acionados diretamente pela engrenagem do trem de distribuição do motor. A bomba aspira o óleo do depósito e o envia sob pressão para o acumulador. Esse acumulador armazena o óleo sob pressão. Essa pressão é mantida constante por causa da tensão da mola fixada pelo construtor. Sendo a bomba de engrenagem de deslocamento positivo, a pressão do óleo no acumulador aumenta substancialmente, contrariando a ação da mola do êmbolo e levantando-o até que o mesmo descubra a sua janela de descarga e deixe o óleo em excesso voltar para o reservatório.

O pistão de força transfere o seu movimento para a haste de regulagem das bombas injetoras de combustível. A mola no topo do pistão tende a empurrar a haste de regulagem no sentido de fechar o combustível, enquanto um aumento na pressão de óleo no cilindro tende a fazer com que o pistão e a haste na qual ele é fixado movimentem-se no sentido de aumentar o débito de combustível para aumentar a velocidade do motor. Esses três componentes, bomba de engrenagem, acumulador e pistão de força fazem parte da seção de força do regulador referido inicialmente.

Os contrapesos giratórios e o conjunto da válvula piloto com sua bucha com janela fazem parte da seção sensível de velocidade do regulador. Como você pode ver, a válvula piloto é acionada diretamente pelos contrapesos por meio da haste de velocidade.

O pistão compensador atuador, o pistão compensador receptor, e a válvula de agulha fazem parte da seção de compensação do regulador. A válvula de agulha controla o fluxo de óleo dentro e fora do sistema hidráulico de compensação.

Dentre os componentes do regulador que não fazem parte das seções que mencionamos anteriormente encontram-se: a alavanca de ajuste da queda de velocidade e a came ou excêntrico do limitador de carga.

As condições de carga (esforço demandado sob o motor) serão responsáveis pela atuação do regulador de velocidade sob a haste de

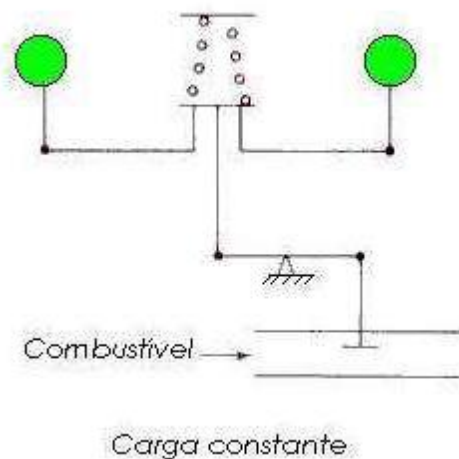


regulagem das bombas injetoras de combustível afim de aumentar ou diminuir a quantidade de combustível injetada no motor.

### 6.1.3.1 carga constante

Vamos admitir que, o motor encontra-se numa rotação fixa, porém com apenas metade da carga. Nesse caso, a válvula piloto está cobrindo a abertura reguladora da sua bucha, os contrapesos giratórios estão na posição vertical (por causa do equilíbrio da força centrífuga com a tensão da mola) e, logicamente, a haste de regulagem das bombas injetoras de combustível não se movimenta, mantendo constante o suprimento de combustível das bombas injetoras para os cilindros do motor.

Figura 16 - Reação dos Contrapesos do regulador de velocidade a carga constante.



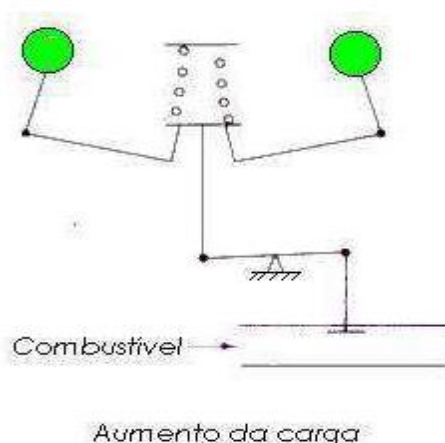
Fonte: Máquinas de Combustão Interna do curso APMQ a distância

### 6.1.3.2 aumento de carga

Quando a carga é aumentada, a velocidade do motor tende a cair. Os contrapesos giratórios fecham em direção ao seu eixo de rotação,

permitindo que a tensão da mola empurre a válvula piloto para baixo, descobrindo a abertura reguladora (janela) da sua bucha. Assim, o óleo vindo da bomba de engrenagem passa para o cilindro do pistão de força obrigando-o a subir. Como o pistão de força move-se para cima, o pistão compensador atuador o acompanha, levantando a pressão do óleo no sistema de compensação. Esse aumento de pressão atua no cilindro do pistão compensador receptor, empurrando a mola que por seu turno é ligada à válvula piloto. Essa força empurra a válvula piloto em direção à posição de equilíbrio, fechando a porta da seção de força. Ao mesmo tempo, há uma fuga de óleo do sistema de compensação através da válvula de agulha para o depósito que, como você sabe, é o próprio invólucro do regulador. Como a velocidade do motor foi restabelecida, os contrapesos voltam à posição de equilíbrio, que é a vertical. Isso faz com que a válvula piloto mova-se para baixo, fechando a abertura da seção de força. Agora o motor funciona com uma carga maior, mas com a mesma velocidade que desenvolvia antes do aumento da carga.

Figura 17 - Reação dos contrapesos do regulador de velocidade com aumento de carga.



Fonte: Máquinas de Combustão Interna do curso APMQ a distância

### 6.1.3.3 redução de carga

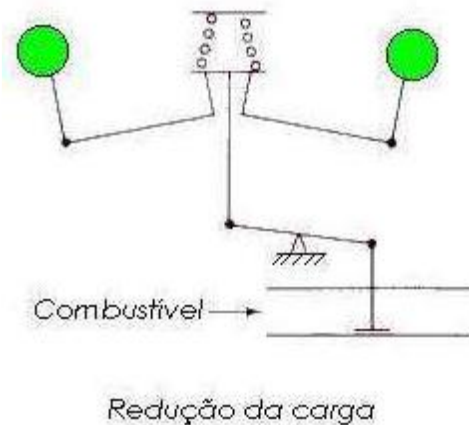
Na redução da carga a velocidade do motor aumenta. Isso faz com que a força centrífuga supere a tensão da mola, afastando os contrapesos giratórios do seu eixo de rotação. O afastamento dos contrapesos provoca a subida da válvula piloto permitindo, assim, a saída do óleo do cilindro do pistão de força através da sua porta de comunicação para o cilindro do pistão compensador receptor. Por causa da diminuição da pressão sob o pistão de força, a sua mola empurra-o para baixo. Esse movimento é transferido para a haste de regulagem das cremalheiras das bombas injetoras, reduzindo, portanto, o débito de combustível para os cilindros do motor. O movimento do pistão compensador receptor é retardado, porque a pressão do óleo no sistema de compensação torna-se menor do que a do reservatório. Assim, através da válvula de agulha, o óleo flui do reservatório para o circuito de compensação. O pistão compensador receptor tende a puxar a válvula piloto para baixo, cobrindo a janela para reduzir o fluxo de óleo do cilindro do pistão de força.

A única maneira de restabelecer o equilíbrio para a nova condição de carga é a volta dos contrapesos para a posição vertical. O circuito de compensação atua sempre no sentido de reduzir o efeito da seção de força. Isso balanceia as diferenças no tempo de reação entre o regulador e o motor. A abertura da válvula de agulha deve ser criteriosamente ajustada, de acordo com as peculiaridades de cada motor. Com relação ao ajuste da queda de velocidade (*speed droop*), vamos supor que o ponto de apoio da sua alavanca de ajuste é movido da posição (a) para a posição (b). Ora, esse ajuste muda a resistência da mola que a força centrífuga deve vencer para que os contrapesos giratórios alcancem a posição vertical. Como você já sabe, os contrapesos devem estar na posição vertical para possibilitar que a válvula piloto feche a abertura reguladora. Sem carga, a força da mola será maior porque a alavanca estará numa posição mais baixa, comprimindo menos a mola. Assim, a força centrífuga que atua nos contrapesos giratórios deverá ser maior.

Por outro lado, na rpm de carga total e a alavanca na posição mais elevada, a força da mola será menor e menos força centrífuga será

necessária para levar os contrapesos giratórios para a posição vertical. Isso nos permite compreender que a força não é uniforme dentro da faixa de velocidade do motor. Há uma variação na rpm da condição de carga total para a de sem carga.

Figura 18 - Reação dos contrapesos do regulador de velocidade com redução de carga



Fonte: Máquinas de Combustão Interna do curso APMQ a distância

#### 6.1.4 queda de velocidade

A expressão queda de velocidade (*speed droop*) pode ser entendida da seguinte maneira: quando a carga de um motor aumenta, a partir da condição de sem carga para carga total, os contrapesos giratórios movem-se para uma posição de equilíbrio com um raio de círculo menor, ocorrendo uma pequena redução de velocidade. Essa redução ou mudança na velocidade, que ocorre a partir da condição de sem carga para carga total, é conhecida como “queda de velocidade” do regulador. Ela pode ser dada em rpm ou em porcentagem. Em porcentagem pode ser obtida assim:

$$\text{Queda de Velocidade} = \frac{\text{rpm do motor sem carga} - \text{rpm do motor a plena carga}}{\text{rpm do motor a plena carga}} \times 100$$

A alavanca da queda de velocidade possui um ponto de apoio móvel que, quando se encontra na posição (a), o regulador atua como isócrono, tendo uma queda de velocidade igual a zero. Quando o ponto de apoio é movido para a posição (b), há queda de velocidade, a qual pode ser ajustada de zero para algum valor máximo indicado no ponto (b). Esse ajuste é feito manualmente por um botão de controle localizado no lado de fora do regulador.

Por meio de um outro botão de controle, do lado de fora do regulador, a came (10) do limitador de carga pode ser girada para limitar o suprimento de combustível para o motor. Como as posições na escala do botão de controle vão de 0 a 10, o motor pode ser parado se o botão for girado para 0 (zero).

## **6.2 Regulador de velocidade eletrônico**

O regulador de velocidade eletrônica mais utilizado a bordo na verdade é um dispositivo híbrido, caso haja falta de energia ou corrente elétrica o regulador atuará de forma hidráulica, esse mecanismo será explicado mais adiante. Existem também os reguladores de velocidade puramente eletrônicos.

### **6.2.1 funcionamento do regulador eletrônico-hidráulico**

A parte eletrônica é instalada na sala de controle e a parte hidráulica é instalada no próprio motor. Entre essas partes encontram-se um dispositivo sensor de velocidade, e uns meios de processar o sinal desse dispositivo para controlar um tipo qualquer de atuador para movimentar mecanicamente a haste de regulação das bombas injetoras,

modificando dessa forma o débito de combustível para os cilindros do motor.

O sensor de velocidade consta de um conjunto de contrapesos giratórios controlado por uma mola, similar ao do regulador hidráulico. Variações na velocidade fazem variar a força centrífuga, variando com isso a posição dos contrapesos em relação ao seu eixo de rotação. Por um sistema apropriado, o movimento dos contrapesos é transferido à haste de regulagem das bombas injetoras de combustível, todas as vezes que há mudança na velocidade do motor. Em alguns reguladores eletrônicos, o sensor de velocidade é um conjunto de contrapesos giratórios controlados por molas. As molas fazem o dispositivo de referência da velocidade. Em outros reguladores, um campo magnético giratório permanente acionado pelo motor é usado para gerar uma corrente alternada no enrolamento do estator. Essa corrente de saída é retificada, para dar uma corrente contínua com uma voltagem proporcional à velocidade do motor.

Um sensor de proximidade, instalado ao lado do volante do motor, pode ser utilizado como dispositivo sensor de velocidade. Em alguns motores, os impulsos de voltagem gerados pelo sensor de proximidade podem ser suficientes sem amplificação para um sinal de entrada de uma dada velocidade do motor.

No caso dos motores de combustão auxiliar (MCAs), que, como você sabe, acionam os geradores de energia elétrica de bordo, pode-se utilizar a frequência da corrente gerada como um dispositivo sensor de velocidade. Para que isso seja possível, a corrente alternada passa em um conversor de frequência que dá uma saída de corrente contínua com uma voltagem proporcional à velocidade do motor.

A voltagem de saída da corrente contínua, proporcional à velocidade do motor, é, então, comparada com a de saída do regulador de voltagem com diodo Zener. Se, por ocasião dessa comparação, houver uma diferença entre as voltagens, ela é amplificada para controlar uma saída para alimentar a solenoide de controle do atuador hidráulico, ou para suprir corrente para um dispositivo de motor e parafuso. Nesse caso, o motor torna-se o atuador utilizado para controlar o ajuste das bombas injetoras de combustível. Para prevenir o motor no caso de falta de

corrente elétrica, os fabricantes costumam fazer uma combinação do regulador eletrônico com o hidráulico. Assim, se, por algum motivo, faltar corrente para a parte eletrônica do regulador que controla a válvula solenoide do atuador, a parte mecânica atua como um sistema emergencial para controlar a referida válvula.

#### 6.2.2 principais vantagens e desvantagens do regulador de velocidade eletrônico em relação ao regulador de velocidade hidráulica

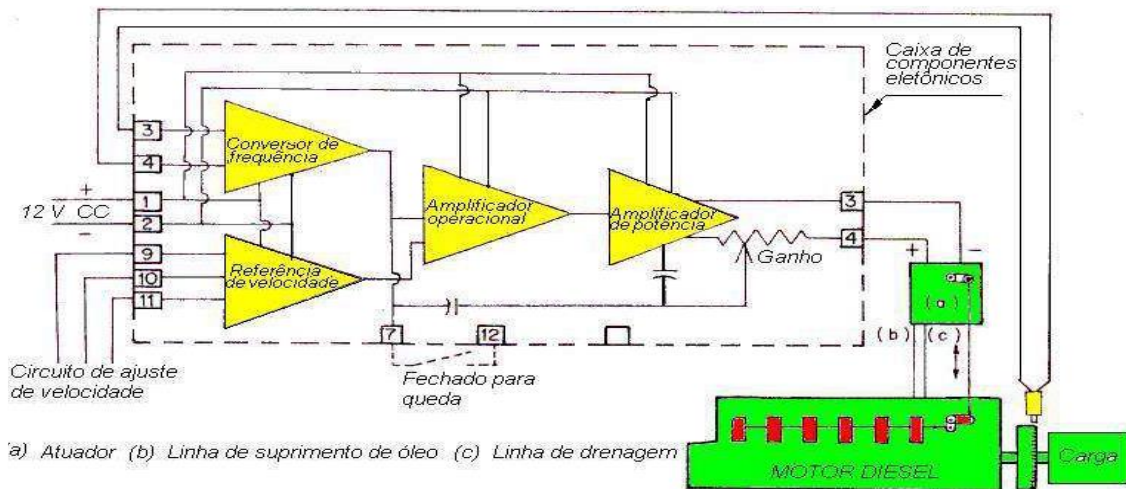
As principais vantagens do regulador eletrônico sobre o hidráulico são:

1. menor número de peças
2. capacidade para implementar o sistema de controle de velocidade do motor, incorporando entradas (inputs) de várias fontes como: velocidade, carga do motor, carga elétrica, controle de sobrevelocidade, distribuição de carga entre motores ligados por meio de engrenagens, e distribuição de carga de grupos geradores que trabalham em paralelo.

A principal desvantagem é:

Perda de controle ou governo em caso de falta de corrente.

Figura 19 - Diagrama de bloco de um Regulador de velocidade eletrônico Woodward



O ponto de partida do controle eletrônico se dá no conversor eletro-hidráulico, onde a pressão do óleo é convertida em sinal elétrico. Três detectores de pulso são alojados em volta da engrenagem de comando do eixo de cames. Dois desses detectores informam ao controle eletrônico o valor da velocidade real do motor, e o terceiro detector é utilizado para checar a velocidade do motor para a parada de emergência.

### 6.2.3 componentes principais e suas funções

1- Gabinete do Regulador: Contém um sistema onde a energia eletrônica é invertida para servir em um atuador mecânico. O regulador vai traduzir os sinais recebidos do painel de operação, o controlador manual no manete na sala de controle, do sistema de manobra do passadiço e sensores externos para o movimento do atuador. O movimento do atuador é o responsável pela correta injeção de combustível das bombas do motor, de acordo com a situação de carga do motor.

2- Painel de Operação: Esta unidade é instalada no console do CCM (centro de controle de máquinas), próximo a alavanca de controle manual. O painel de operação possui todas as facilidades requeridas para a operação do regulador. O painel possui um LED que exhibe instantaneamente a condição de operação do sistema.



3-Atuador: O atuador controla a posição da régua de combustível do motor, os atuadores eletro-mecânico dependem do torque e tipo do motor ,ou seja a escolha deve ser feita de acordo com o fabricante do motor e o desempenho que ele deseja, no caso do regulador de velocidade woodward PGG-EG utiliza-se um atuador eletro-hidráulico.

4- Sensores de velocidade: Para medir a velocidade do motor dois sensores são instalados para o cálculo de velocidade, e a distância entre o dente da engrenagem e o sensor está geometricamente relacionada ao cálculo. Os dois sensores são monitorados de forma independente seja para falhas ou perdas, já que esses refletem as condições de operação do motor, por isso as margens de monitoramento são suficientemente grandes para prevenir alarmes durante uma descontinuidade do movimento do eixo.

## **7 ELEMENTOS PROPULSORES**

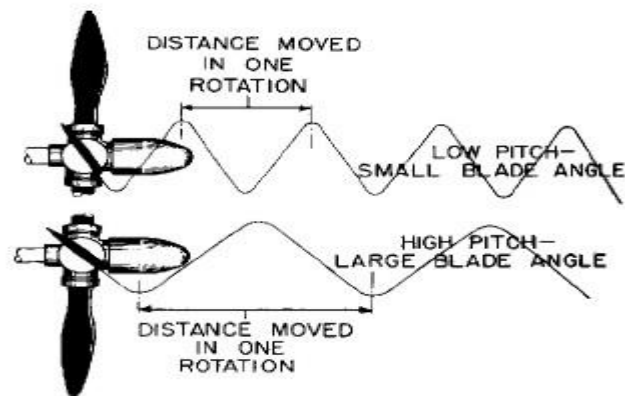
O propulsor é o equipamento responsável pela locomoção de uma embarcação, considerando que existem diferentes tipos de navio, podemos concluir que existem diferentes tipos de propulsão, todas elas possuindo um diferente tipo de hélice que é responsável pela propulsão do navio já que converte seu movimento rotacional em movimento translacional e deslocando o objeto que se encontra acoplado nesse caso uma embarcação obedecendo ao princípio de Bernoulli e a 3ª Lei de Newton criando uma diferença de pressão entre ambas as superfícies das pás.

O hélice é montado na extensão do eixo de manivelas dos motores alternativos de baixa potência, ou no eixo da hélice, nos motores alternativos de maior potência e nos motores turbo-hélices, sendo que este eixo é conectado a uma caixa redutora ligada ao eixo do motor.

## 7.1 Passo

É a distância percorrida pelo hélice em uma revolução.

Figura 20 - Passo do Hélice



Fonte: [www.pilotfriend.com](http://www.pilotfriend.com)

## 7.2 Ângulo da pá

A inclinação da pá da hélice em relação ao seu plano rotacional, sendo este determinante para o passo, pois quanto maior o ângulo maior será o passo e quanto menor também o passo será.

## 7.3 Tipos de hélice

Existem vários tipos de hélices desde aqueles mais simples que possuem passo fixo até os mais complexos que ajustam automaticamente o ângulo das pás. Definiremos alguns tipos de hélices a seguir.

### 7.3.1 passo fixo

Como o próprio nome já diz trata-se de um hélice que não possui variação do ângulo das pás, como consequência não varia seu passo.

Figura 21- Hélice de Passo Fixo



Fonte: ENIDH; Baptista

Figura 22 - Propulsão do navio Titanic



Fonte: [interessantiblog.blogspot.com](http://interessantiblog.blogspot.com)

### 7.3.2 passo variável

Trata-se de um hélice que se pode variar o ângulo de suas pás, conseqüentemente alterando o seu passo. Existe um ponto de eficiência propulsiva máxima para cada ângulo de passo, ou seja, essa mudança de ângulo pode ser limitada ou poderá apenas ter seu limite mínimo e máximo.

Com isso podemos controlar a rotação de nosso hélice e também o seu torque.

Figura 23 - Hélice de Passo Variável



Fonte: schottel

Uma grande vantagem do hélice de passo variável em relação ao hélice de passo fixo é que ele pode se adaptar às condições de operação que influenciam a curva de carga do motor, tais como: resistência do casco, condições meteorológicas, profundidade, calado, condições de carga, de mar, alteração de combustível, aumento de sujeira e rugosidade no casco e nas pás do hélice. Por causa dessa capacidade de adaptação o hélice de passo controlável proporciona um aumento na vida do motor,

uma diminuição nos custos de manutenção do motor, maior manobrabilidade, diminuição de ruídos e suavidade na operação.

### 7.3.3 azimutais

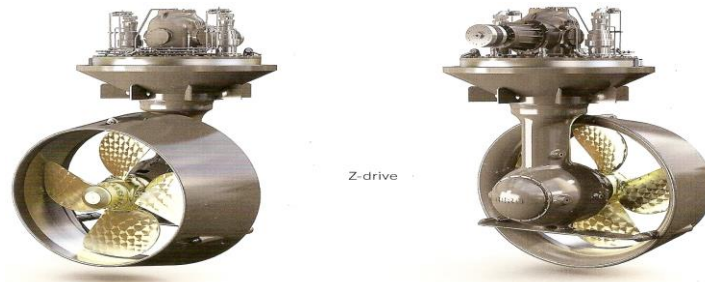
Um propulsor azimutal consiste em um hélice que pode orientar seu impulso girando ao redor de um eixo vertical. Este giro é completo (360°) o que melhora a manobrabilidade excluindo a necessidade de uma máquina do leme.

Esses propulsores começaram a ser largamente empregados com o avanço tecnológico da eletrônica de potência, que desenvolveu elementos de controle para maiores potências. Eles podem ser simples ou contra-rotativos, com passo fixo ou variável e possuir bocal, entre outras variações. A máquina motriz fica dentro da embarcação, pode ser um motor elétrico alimentado por gerador ou um motor diesel, a hélice pode ter passo variável com acionamento hidráulico ou fixo controlado por inversor de frequência, neste caso a máquina motriz será obrigatoriamente um motor elétrico.

#### *7.3.3.1 tipos de azimutais*

1-Tipo Z: possuem a máquina motriz com o eixo na posição horizontal. O torque é transmitido ao propulsor por meio das duas caixas de transmissão, uma conectada ao eixo do motor, que por sua vez está na estrutura de suporte ou sobre o topo do atuador, e a outra caixa de transmissão está na direção da linha do eixo propulsor. Essa forma de transmissão é chamada de Z-drive porque o movimento de rotação tem que fazer duas voltas em ângulo reto, assemelhando-se, assim, à letra Z.

Figura 24 - Azimutal tipo z



Fonte: Nauticexpo.com

2- Tipo L: o azimutal tem sua máquina motriz na posição vertical e possui uma única caixa de transmissão de engrenagens, localizada na linha horizontal do eixo do propulsor. É chamada de L-drive porque o movimento de rotação tem que fazer um giro de 90°, parecendo a letra L.

Figura 25 -Azimutal tipo L



Fonte: Nauticexpo.com

### 7.3.3.2 *azipod*

Sistemas Azipod usados em navios é uma combinação dos sistemas de direção e propulsão. No sistema de propulsão convencional, um grande motor de dois tempos é conectado ao eixo, o qual atravessa um túnel via tubo telescópico e se conecta ao hélice pela parte externa do casco na

popa do navio. O sistema de manobra (maquina do leme) de tal sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice.

No entanto, no arranjo azipod, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e fabricados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice o qual é manobrado por um motor elétrico e o hélice é girado pelo leme que é conectado ao sistema.

O motor é localizado dentro do casulo selado e é conectado ao impelidor. Deve se observar que o sistema de selagem deve ser perfeito caso contrário pode danificar o motor integralmente. O motor utilizado para este sistema é um motor elétrico de frequência variável. Usando frequência variável, a velocidade rotacional do impelidor pode ser controlada a velocidade pode ser aumentada ou diminuída.

O termo POD vem de *Propulsion with Outboard Electric motor* Propulsão com motor elétrico externo. O conjunto completo do sistema azipod é localizado na parte externa do casco na popa do navio. O azipod pode girar em todas direções (360°) com a ajuda de um leme, e assim fornecer empuxo em qualquer direção o que não é possível no sistema convencional. O propulsor no sistema pod é direcionado pelo leme que é colocado no plano de direção.

#### *7.3.3.2.1 funcionamento do sistema azipod*

O sistema azipod e um tipo de sistema de propulsão elétrica que consiste de três componentes principais:

##### 1- Transformador de Suprimento

A potência fornecida pelos geradores pode ser tão elevada quanto 6600 KV, a qual é reduzida para a tensão necessária pelo transformador de suprimento e deste é fornecido ao motor disposto no interior do casulo (*pod*).

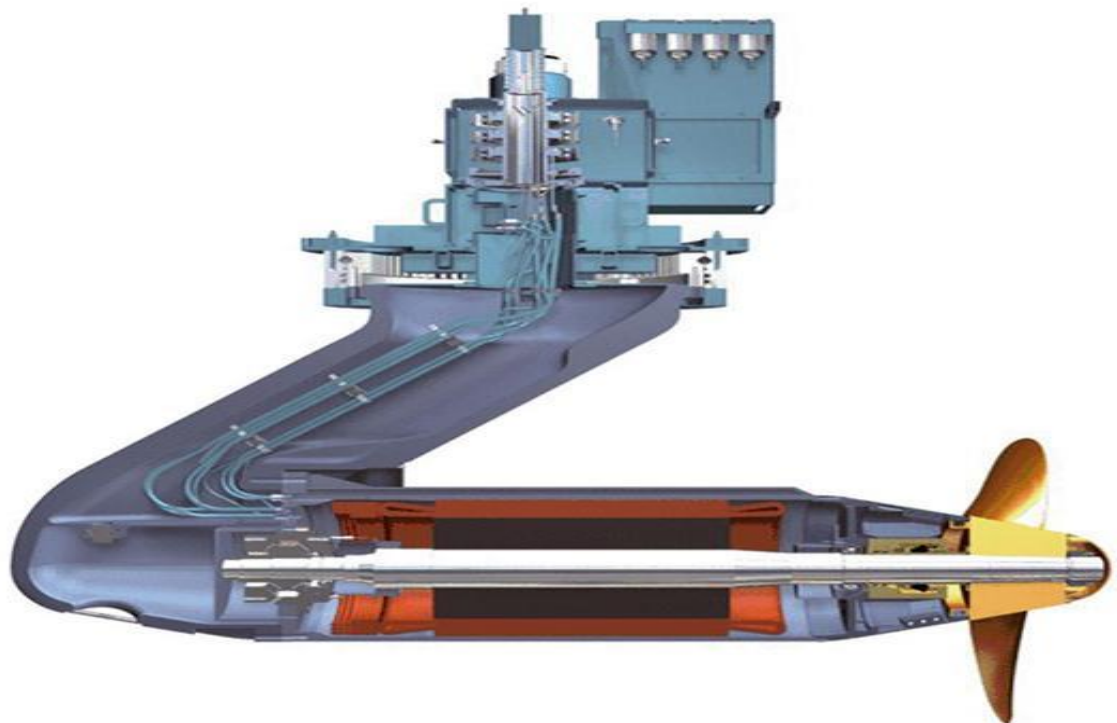
##### 2- Motor de Propulsão

O motor de propulsão é utilizado para produzir *thrust* ou para dirigibilidade. O sistema precisa de algum método para girar o impelidor e isto é feito com auxílio de motor elétrico.

### 3- Inversor de Frequência

É utilizado para mudar a frequência da potência suprida de maneira que a velocidade de rotação do motor possa ser controlada dependendo da necessidade.

Figura 26 - Propulsor do tipo Azipod



Fonte: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

#### 7.3.3.2.2 vantagens e desvantagens do sistema azipod

Vantagens:

1-Maior manobrabilidade já que o impelidor pode ser girado em todas as direções. Isto proporciona melhor distancia de parda durante as manobras do que aquela fornecida pelos sistemas convencional.



2-No caso de navios enormes, dois ou mais azipods os quais são independentes entre si podem ser utilizados. Isto proporciona manobras mais precisas.

3-Economiza-se muito espaço na praça de máquinas já que não existe motores, impelidores, eixos e outros arranjos. O espaço economizado pode ser utilizado para mais carga do navio.

4- O sistema pode ser posicionado embaixo do navio promovendo desta forma mais eficiência do que o sistema convencional.

5-O uso de impelidores lateral (*bow thruster, side thruster*) pode ser eliminado já que os pods podem prover tais esforços lateral.

6-Vibrações e barulho menores do que no sistema convencional

7- Baixo consumo de combustível e lubrificantes

8- Emissões de gases poluentes são extremamente baixas.

Desvantagens:

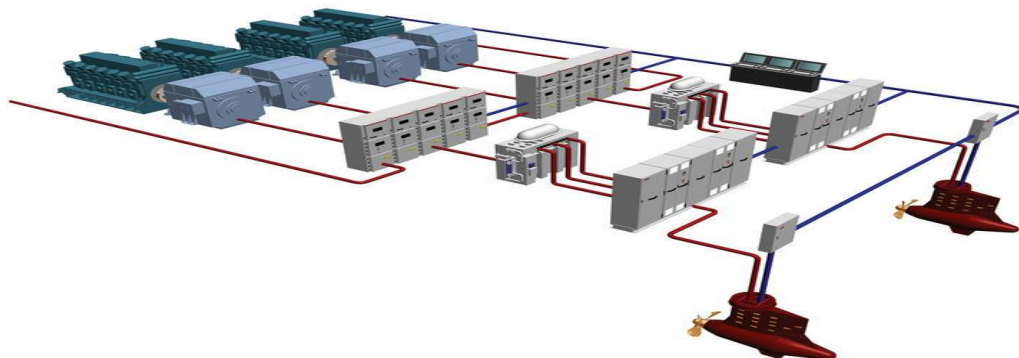
1-Sistema azipod requer um custo inicial elevado.

2- Um grande número de motores diesel são necessários para a produção necessária de energia

3-Há uma limitação da potência produzida pelo motor. Atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 21 MW.

4-Não pode ser instalado em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.

Figura 27 - Sistema de Partida Elétrica de um Azipod



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma enorme quantidade de dispositivos eletrônicos a bordo cada um deles associado de outros equipamentos otimiza parâmetros físicos das máquinas como pressão, temperatura, velocidade, rotação, etc.

Podemos observar que os dispositivos eletrônicos não atuam de forma isolada e sim se integrando a um sistema, tornando seus processos mais precisos e eficientes.

O inversor de frequência mostrou-se como um dispositivo de alta versatilidade e ampla funcionalidade a bordo como foi apresentado ele controla diversos equipamentos a bordo como motores elétricos, *dampers*, ventiladores e compressores estendendo seu uso até mesmo para propulsão elétrica.

O regulador de velocidade eletrônico-hidráulico mostrou-se bem útil por poder atuar de duas formas distintas eletrônica e hidraulicamente, seu uso torna-se indispensável já que em poucas palavras ele será responsável por dizer quanto de combustível será consumido pelo MCP e pelos MCAs

A chave eletrônica mostrou-se uma opção extremamente econômica para o consumo de energia elétrica durante sua partida por atuar na tensão e no conjugado podendo levar o motor a altas rotações de maneira gradativa e sem sofrer picos repentinos como acontece em decorrência da partida direta e da partida estrela-delta.

Apesar de termos adquirido uma visão um pouco mais extensa do que a eletrônica pode nos proporcionar uma maneira de ampliar cada vez mais o campo de conhecimento é através de estudos constantes e da leitura de manual do fabricante visto que apesar de conhecer o princípio de funcionamento cada equipamento ira operar de uma maneira diferente, isso é válido não apenas para dispositivos eletrônicos como para demais equipamentos que podem ser encontrados no meio marítimo.

## REFERÊNCIAS

CAMACHO, Ricardo Montez. **Moderno sistema de propulsão das embarcações mercantes**. 2006.

LIMA, Josinaldo G. de; SILVA, Marcio G.; JUNIOR, Antônio S. O.; AQUINO, Alberdan S. de, **CONTROLE DE ROTAÇÃO DE MOTOR TRIFÁSICO USANDO INVERSOR DE FREQUENCIA COMANDADO POR UM TRANSDUTOR DE PRESSÃO**. Disponível em < <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/3687/2462>>. Acesso em : 16 MAIO .2015

**Modulação PWM nos Inversores de Frequência**. Disponível em <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1508-modulao-pwm-nos-inversores-de-frequecia>>. Acesso em : 16 MAIO.2015

RICHTER, Claudio. **Controladores Programáveis**, DEXTER Ind. e Com. de Equip. Eletrônicos Ltda.2001

SENAI, **Técnicas de controle soft-starters e inversores de frequência**. 2012.

SILVA, Clodoaldo. **Inversor de frequência**. Disponível em <<http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Inversor%20de%20frequencia.pdf>> .Acesso em: 16 MAIO. 2015

TAGART, Robert. **Marine Propulsion: principles e evolution**. Houston,Texas:Gulf Publication Company.

VIANNA, William da Silva. **Controlador Lógico Programável**, A&C Automação e Controle,2003

WOODWARD, **Hydraulic Powered Electric Actuator for Engine Control,PG-EG Actuator**, Product Specification 03381 ,2014.

WOODWARD, **PG-EG Integral EG Actuator for PG Governors**,Installation and OperationManual,2014.