

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

PROPULSÃO ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

TAMARA CRISTINA DO NASCIMENTO SILVA

**Rio de Janeiro
2016**

TAMARA CRISTINA DO NASCIMENTO SILVA

PROPULSÃO ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

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: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

**Rio de Janeiro
2016**

TAMARA CRISTINA DO NASCIMENTO SILVA

PROPULSÃO ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

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 de Aprovação: ____/____/____

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por me incentivar e me apoiar em todos os meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto por toda ajuda e atenção dedicadas.

"Todos olharam pra Golias e disseram: é muito grande não tem como vencer.
Davi olhou e disse: é muito grande não tem como errar." (WENDELL LIRA)

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso visa falar sobre a propulsão elétrica em navios mercantes com o intuito de mostrar alguns dos tipos utilizados a bordo e o princípio básico de funcionamento de cada tipo e as vantagens de usar esse tipo de propulsão mediante aos outros tipos encontrados no cenário mercante atualmente.

Palavras-chaves: Propulsão Elétrica. Energia Elétrica. Inversor de frequência, AZIPOD.

ABSTRACT

This course's conclusion work aims to talk about electric propulsion in merchant ships in order to show some of the kind used on board and the basic principle of operation of each type and the advantages of using this type of propulsion by other types found in merchant currently setting.

Key-words: Electric Propulsion. Electric Energy. Frequency Inverter. AZIPOD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - USS “Júpiter”	11
Figura 2 - USS “Langley”	12
Figura 3 - USS “New Mexico”	12
Figura 4 - USS “Lexington”	13
Figura 5 - USS “Saratoga”	13
Figura 6 - Alguns exemplos de propulsão elétrica à corrente alternada	15
Figura 7 - Sistema Elétrico de um Navio	16
Figura 8 - Disposição do Gerador Elementar	17
Figura 9 - Disposição da tensão de saída	18
Figura 10 - Diagrama em bloco de um inversor de frequência	19
Figura 11 - Forma de onda na saída do inversor	20
Figura 12 - Inversores de Frequência produzidos pela ALTUS	20
Figura 13 - Arranjo de Distribuição Elétrica Padrão	22
Figura 14 - Disposição de um Gerador de Corrente Contínua com duas espiras e com sua respectiva tensão de saída	22
Figura 15 - À esquerda um gerador industrial e à direita os tipos de tensão de saída conforme o gerador	23
Figura 16 - Gerador de Corrente Contínua em detalhes	23
Figura 17 - Motor de Corrente Contínua de Velocidade Variável produzido pela HYOSUNG	24
Figura 18 - Alguns Tipos de AZIPODs fabricado pela ABB	25
Figura 19 - Unidade Azipod detalhada	26
Figura 20 - Planta Propulsora Sistema AZIPOD	27
Figura 21 - AZIPOD CRP	28
Figura 22 - Planta Propulsora do AZIPOD CRP	28
Figura 23 - Disposição com Barramento Duplo do Kornsborg Neptune Simulator	28
Figura 24 - Disposição da Planta Propulsora	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 BREVE HISTÓRICO SOBRE A PROPULSÃO ELÉTRICA	11
3 PROPULSÃO À CORRENTE ALTERNADA	15
3.1 Gerador De Eixo à Corrente Alternada	15
3.1.1 Gerador Elementar	16
3.1.2 Motor Elétrico à Corrente Alternada	18
3.1.3 Inversor de Frequência	19
4 PROPULSÃO À CORRENTE CONTÍNUA	21
4.1. Gerador De Eixo à Corrente Contínua	21
4.1.1 Gerador à Corrente Contínua	22
4.1.2 Motor Elétrico à Corrente Contínua	24
5 SISTEMA AZIPOD	25
5.1 Componentes Principais do Sistema AZIPOD	26
5.2 Benefícios da Propulsão AZIPOD	27
5.3 Nova Geração AZIPOD	27
6 VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	29
6.1 Flexibilidade da disposição	29
6.2 Diversidade de Carga	29
6.3 Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio	29
6.4 Funcionamento econômico da carga parcial	30
6.5 Redução dos Custos de Manutenção	30
6.6 Facilidade de controle	31
6.7 Redução dos Custos de Manutenção	31
6.8 Pouco barulho e vibração	31
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Propulsão é o mecanismo, ou sistema, necessário para se vencer a resistência imposta pela água e o ar à passagem do navio no meio fluido. O elemento responsável por desenvolver o empuxo, ou força, necessário para superar a resistência chamado de propulsor.

Na procura de uma propulsão eficiente e com maior rendimento o motor a diesel tem sido uma solução para os armadores. Os motores de combustão interna começaram consumindo diesel, tornando-os caros mas esse problema foi resolvido com óleo pesado, um combustível de baixa qualidade e barato, o que tem mantido os MCIs no mercado até hoje.

Apesar das vantagens dos MCIs, os espaços requeridos para suas instalações ainda são grandes e perde-se espaço de carga que poderia ser transportada para as instalações das máquinas. Com tal espaço e peso requeridos de uma instalação do sistema de propulsão mecânica são tão grandes que o navio é muitas vezes projetados em função do MCP. Um sistema que evita este problema é o de propulsão elétrica devido a principalmente reduzir gastos. A propulsão elétrica utiliza energia elétrica para acelerar o propulsor e produzir empuxo. As fontes de energia elétrica (painéis solares, baterias, etc.) são, normalmente, separadas do mecanismo que produz o empuxo. Os processos fornecem altas velocidades de ejeção e um baixo consumo de combustível, durante períodos muito longos.

Eliminando-se o MCP e os sistemas necessários para supri-lo, boa parte de espaço é ganho para carga em primeira instância ou para conforto da tripulação, levando também em consideração a redução da temperatura e de ruídos na praça de máquinas e, também, redução da emissão de poluentes.

Após anos de projetos e aprovações de sistemas dos mais diversos tipos de propulsão marítima, veio a tecnologia da propulsão elétrica, que não está sendo considerada simplesmente como o resultado da evolução natural de tecnologias já em uso, e sim como uma das maiores revoluções na área de engenharia naval desde o desenvolvimento da propulsão nuclear. As consequências de sua implementação são refletidas no projeto, fabricação, apoio e operação, de forma a permitir a exploração de todas as potencialidades deste tipo de propulsão.

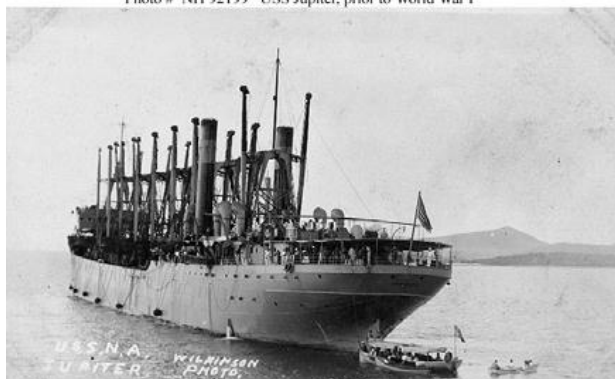
2 BREVE HISTÓRICO SOBRE A PROPULSÃO ELÉTRICA

A propulsão elétrica em navios e submarinos é de fato uma propulsão inovadora porém não é recente. Esta já vem sendo utilizada desde o século XIX, na qual foi aplicada no setor naval com a construção e operação de uma lancha movida a baterias para o transporte de passageiros na Rússia.

Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter” - Figura 1, navio pertencente à Marinha Americana, foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

Figura 1 - USS “Júpiter”

Photo # NH 92199 USS Jupiter, prior to World War I



Fonte: DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., 1999, An Historical Overview of Navy Electric Drive, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment

O sistema de propulsão do USS “Jupiter” era composto por um turbo gerador em corrente alternada (CA) que alimentava dois motores de indução com rotor bobinado. O experimento obteve sucesso e o navio foi convertido em 1922, no primeiro navioaeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley” - Figura 2. O navio apresentou uma elevada robustez e permaneceu em plena capacidade operativa até 27 de Janeiro de 1942, quando foi afundado em combate na batalha de Java pelos próprios americanos para evitar sua captura após ser atingido pelos japoneses.

Figura 2 - USS “Langley”



Fonte: DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., 1999, **An Historical Overview of Navy Electric Drive**, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment

O sucesso obtido na utilização da propulsão elétrica e a aparente mostra dos seus benefícios estimularam um grande esforço empregado para a construção de 50 navios com este tipo de propulsão, durante o período entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundiais.

Entre estes navios estava o USS “New Mexico” - Figura 3 - com 30 MW de potência instalada, o segundo e o terceiro navios aeródromo da Marinha Americana, USS “Lexington” – Figura 4 – que foi afundado em 8 de maio de 1942 na Batalha do Mar de Coral e USS “Saratoga” – Figura 5 – afundado em 25 de julho de 1946 em teste com bomba atômica, com potência instalada de 135 MW.

Figura 3 - USS “New Mexico”



Fonte: DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., 1999, **An Historical Overview of Navy Electric Drive**, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment

Figura 4 - USS “Lexington”



Fonte: wikipédia

Figura 5 - USS “Saratoga”



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/USS_Saratoga_\(CV-3\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/USS_Saratoga_(CV-3))

Durante a Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de escolta equipados com propulsão elétrica foram construídos para a Marinha Americana, utilizando turbo ou diesel geradores na faixa de 4,5 a 9,0 MW.

Aproximadamente 500 navios de pequeno porte foram também equipados com sistemas de propulsão elétrica em corrente contínua com potência instalada na faixa de 225 kW a 15 MW.

É importante destacar que a falta de capacitação técnica para a produção em larga escala de engrenagens foi um dos motivos que também contribuíram para o significativo aumento do número de navios com propulsão elétrica durante o período bélico.

Contudo, por volta de 1940, os desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de engrenagens de dupla redução, para aplicações no setor naval e militar, passaram a apresentar preços competitivos nos Estados Unidos. Juntamente com este fator, e também a algumas desvantagens da propulsão elétrica existentes naquela época, como maior peso, maior volume e menor eficiência energética, a expansão do uso da propulsão elétrica em larga escala foi drasticamente inibida e reduzida, em detrimento da propulsão mecânica convencional.

A mudança da preferência do tipo de propulsão a ser empregada em larga escala também foi influenciada pelas melhorias tecnológicas obtidas no setor de metalurgia e na manufatura de engrenagens redutoras com peso e volume menores e melhores resultados no desempenho acústico dos equipamentos.

Este panorama da situação persistiu até o início do século XXI, quando a capacidade de transmissão mecânica de energia atingiu seu limite tecnológico e de viabilidade econômica.

Durante as décadas de 1980 a 1990, os avanços tecnológicos, na área de Eletrônica de Potência, tornaram a transmissão elétrica de energia mais eficiente e compacta, e assim, possibilitou-se o retorno do emprego da propulsão elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, navios tanque e numerosos transatlânticos.

Atualmente, as pesquisas para a definição das melhores alternativas de tecnologia envolvendo propulsão elétrica estão em plena evolução. As pesquisas relativas aos motores de propulsão, para aplicação naval e militar, apresentam os seguintes requisitos essenciais: formato compacto, peso e volume reduzido, elevadas faixas de potência gerada para valores específicos de torque, resistência ao choque, e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

3 PROPULSÃO À CORRENTE ALTERNADA

O sistema de propulsão à corrente alternada é um dos tipos de propulsão elétrica mais utilizados em navios que façam muitas manobras, principalmente manobras de atracamento e desatracamento por serem operações que requerem precisão e que são irregulares. Com o uso desse tipo de propulsão pode-se dispensar o uso de rebocadores devido a essa facilidade de atracamento e desatracamento. É muito utilizada também em thrusters - manobras que permitem a propulsão transversal do navio através do conjunto motor-hélice.

Para um entendimento melhor desta propulsão, é necessário conhecer e saber a função de seus componentes.

3.1 Gerador De Eixo à Corrente Alternada

Todos os sistemas de propulsão elétrica possuem quatro componentes em comum: o equipamento de acionamento principal, o gerador, o motor elétrico e o seu conversor.

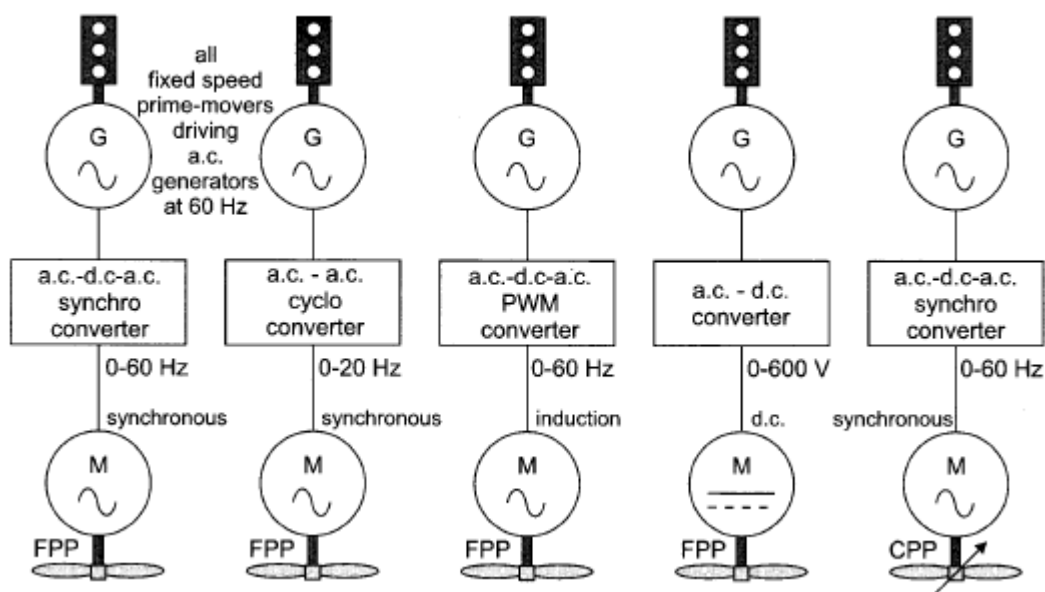


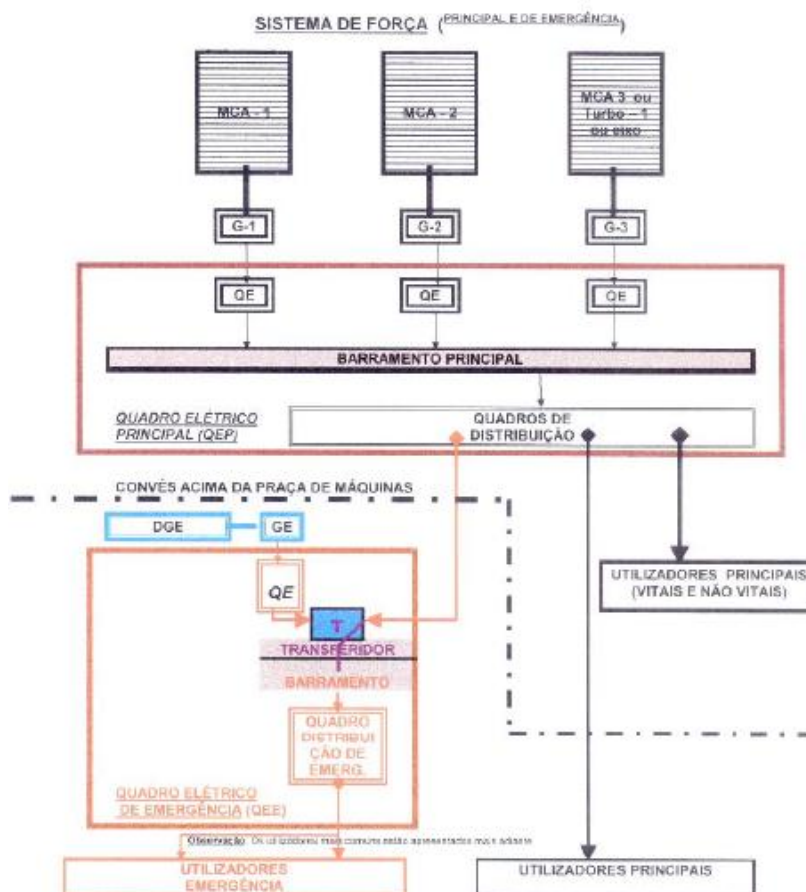
Figura 6 – Alguns exemplos de propulsão elétrica à corrente alternada

Fonte: HALL, Dennis T. – **Practical Marine Electrical Knowledge**, Second Edition

O acionamento principal normalmente se dá por acumuladores e baterias. Estes devem sempre estar carregados por serem constantemente utilizados; esse carregamento é feito através do barramento existente no navio.

O funcionamento básico do gerador elementar e do motor elétrico serão explicados nos itens que se seguem e, o conversor permite a conversão da voltagem fornecida pelo gerador para a voltagem apropriada para o motor que fará o eixo propulsor entrar em funcionamento. Esse conversor também é conhecido como inversor de frequência que será melhor explicado nos itens que se seguem.

Figura 7 – Sistema Elétrico de um Navio



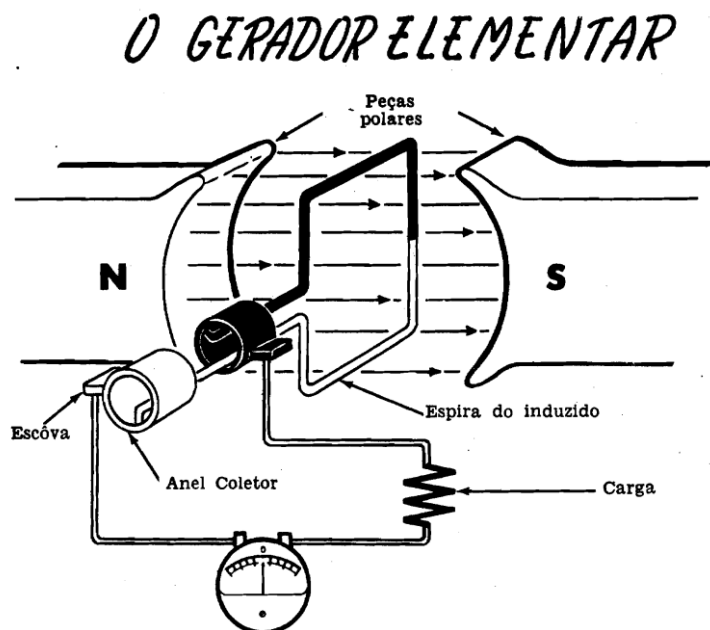
Fonte: POPPIUS, Eduardo Bertil - **Sistemas Elétricos Marítimos**

3.1.1 Gerador Elementar

A função de um gerador é transformar uma determinada energia recebida – mecânica em seu geral - em energia elétrica. O gerador elementar recebe através de um campo eletromagnético uma energia proveniente desse campo e, devido à lei de Lenz, este campo eletromagnético induz uma corrente que devido ao rearranjo correto dos componentes de tal gerador, é criada a energia elétrica de acordo com a potência do gerador. Um gerador elementar é composto basicamente por espiras de fio induzido,

pólos magnéticos para a produção de um campo magnético estacionário, anéis coletores (também chamados coletores) e escovas.

Figura 8 - Disposição do Gerador Elementar

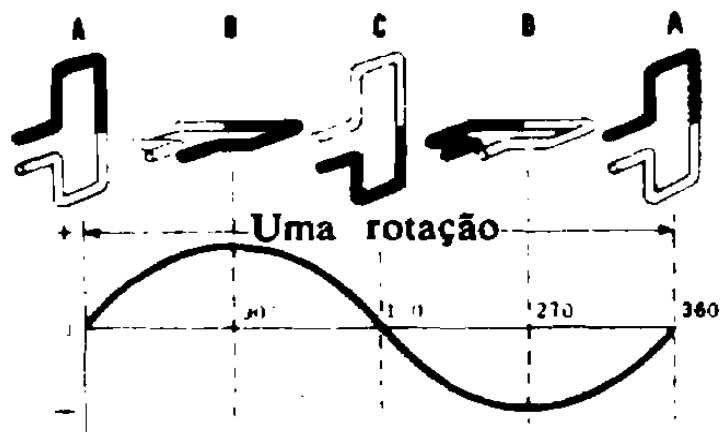


Fonte: VALKENBURGH, Van – **Eletricidade Básica**, VOL. 5

Os pólos magnéticos produzem uma corrente induzida nas espiras do induzido conforme estas rotacionam. Esta corrente é recebida pelos anéis coletores que por sua vez é transmitida para as escovas. Das escovas esta corrente é utilizada para alimentar cargas em geral de acordo com a capacidade do gerador, isto é possível pois o gerador em sua saída produz uma força eletromagnética (fem).

Na saída do gerador a fem e a corrente mudam de direção cada vez que a espira gira 180° . A tensão de saída deste gerador é alternada.

Figura 9 - Disposição da tensão de saída



Fonte: VALKENBURGH, Van – **Eletricidade Básica**, VOL. 5

3.1.2 Motor Elétrico à Corrente Alternada

Os motores fazem o inverso dos geradores no geral: transformam a energia elétrica recebida por ele em um outro tipo de energia – no geral mecânica.

Os motores podem ser divididos em monofásicos ou trifásicos, dependendo da alimentação requerida por ele, síncronos ou assíncronos quando se trata da velocidade de rotação e a frequência do gerador que o alimenta.

As formas de partida mais comuns requeridas por eles são: direta, estrela-triângulo, soft-starter e inversor de frequência.

Na partida direta pode ser alcançado de quatro a doze vezes a corrente nominal. É uma partida simples pois se faz ligação direta dos enrolamentos do estator do motor entre as fases. Mas o operador deve atentar sempre a alta corrente que se obtém nesse tipo de partida para que não haja danos ao sistema elétrico.

A partida estrela-triângulo é usada quando tem-se motores elétricos trifásicos. Inicialmente a partida do motor é em estrela, na qual obtém-se uma suavidade na partida com menos torque. Após ser retirados da inércia, através de um circuito, o acionamento do motor é modificado para triângulo que é um tipo de acionamento onde se obtém mais torque e força para as alimentações que o motor precisa suprir.

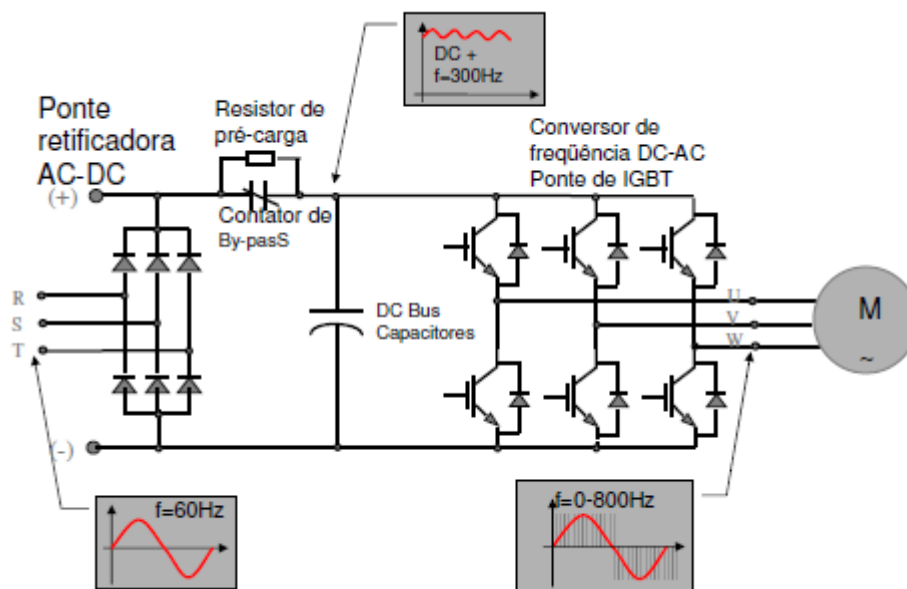
Apesar da partida estrela-triângulo ser uma boa saída para uma partida suave e com um funcionamento do motor com mais potência após isso - diminuindo o desgaste do motor a longo prazo – há uma partida ainda mais suave conhecida como soft-starter que é a partida eletrônica. Esta usa um conjunto de pontes retificadoras usando tiristores ao invés de diodos comuns. A partida é controlada eletronicamente de forma a aumentar

a tensão gradualmente de forma que a corrente de partida seja muito próxima da corrente nominal evitando o pico inicial da partida que pode causar danos no motor e no sistema elétrico associado a ele.

3.1.3 Inversor de Frequência

O inversor é um dispositivo que transforma a corrente alternada em corrente contínua e alimenta uma ponte de transistores IGBT, que controlado corretamente reproduz uma corrente alternada controlando a frequência e a tensão e, por sua vez, o torque/potência produzido pelo motor a carga.

Figura 10 – Diagrama em bloco de um inversor de frequência



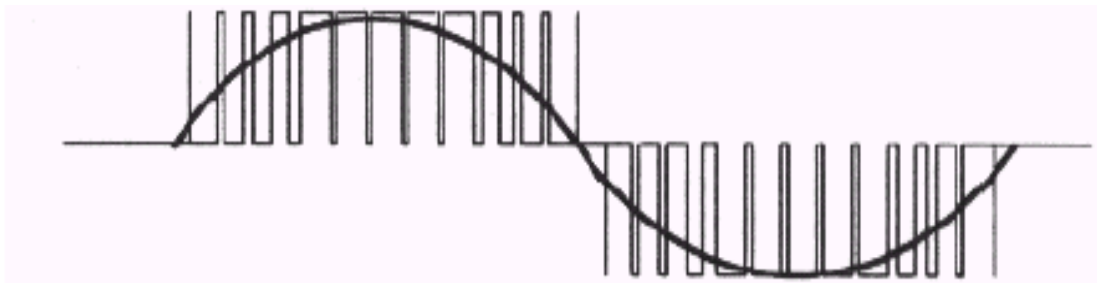
Fonte: BORTOLETTO, Fábio José – **Inversores de Frequência**. Janeiro/2009

Dentre as funções do inversor de frequência estão o controle da rotação e da velocidade dos motores, permitir a economia de energia em níveis consideráveis, reduzir as cargas nas redes de alimentação entre outros. Entretanto, uma grande impecílio é que o inversor de frequência gera muitos harmônicos o que causa interferência na linha de distribuição de energia.

Os inversores de frequência possuem duas divisões básicas a saber: a seção retificadora e a seção inversora. Na seção retificadora a tensão alternada de entrada é transformada em contínua pulsante e o capacitor nesse rearranjo torna essa pulsação mais suave de forma que a tensão se torne puramente contínua. Na seção inversora, a tensão é transformada novamente em alternada através dos transistores IGBT. Eles

chaveiam várias vezes por ciclo, fazendo que tenha uma sequência de pulsos com largura variável senoidais(pwm). Desta forma essa tensão de saída atende de forma bem próxima a corrente requerida pelo motor elétrico.

Figura 11 – Forma de onda na saída do inversor



Fonte: SEIXAS, Francisco de - Power Point ELO IND 7 2016 – Eletrônica 2

Figura 12 – Inversores de Frequência produzidos pela ALTUS



Fonte: BORTOLETTO, Fábio José – **Inversores de Frequência**. Janeiro/2009

4 PROPULSÃO À CORRENTE CONTÍNUA

O sistema de propulsão à corrente contínua não é um dos tipos de propulsão elétrica mais utilizado nos navios atualmente devido a exigir uma manutenção constante e complexa nos componentes do sistema. Dentre eles podemos citar a constante atenção que se deve dar às escovas dos motores, nas quais devido ao atrito constante desta com o coletor elas se desgastam. Como consequência desse desgaste, é gerado um centelhamento que provoca um aumento de calor causando avarias no coletor de corrente do motor.

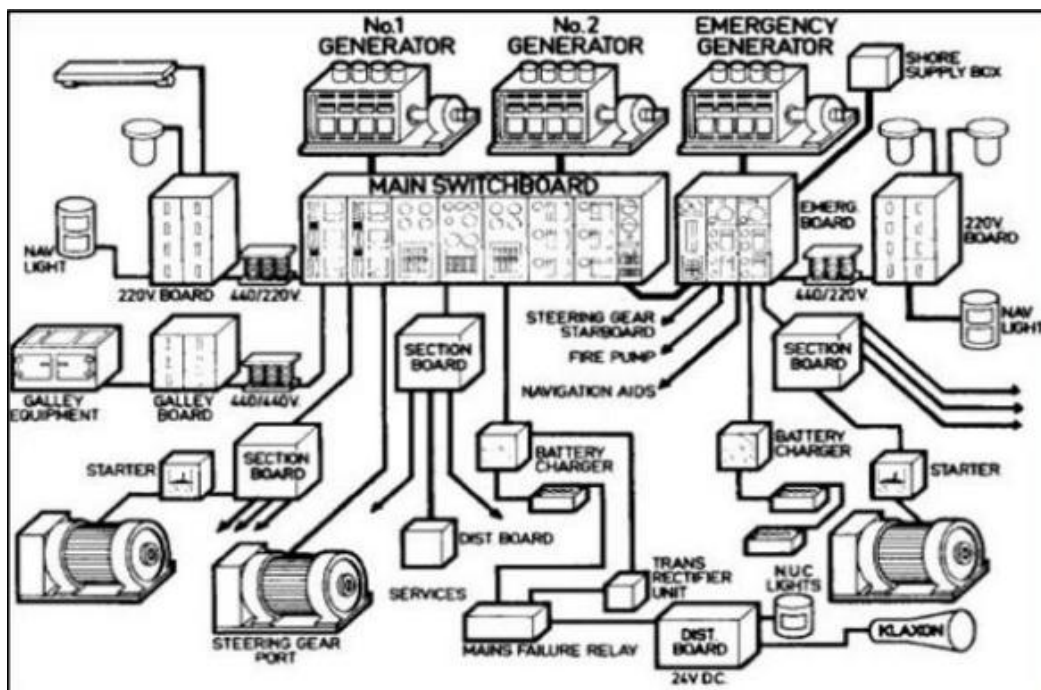
Apesar de umas das desvantagens ser desse patamar, a propulsão à corrente contínua é ainda amplamente adotada para navios mercantes que exigem uma alta manobrabilidade – como navios rebocadores - com uma suave variação de velocidade tanto na partida dos motores quanto nas fainas de manobra principalmente em águas restritas.

Mas para um entendimento melhor sobre a propulsão à corrente contínua é necessário conhecer seus elementos principais.

4.1 Gerador De Eixo à Corrente Contínua

Apesar de ser um tanto arcaico a planta propulsora usada para esse sistema de propulsão ainda é basicamente a mesma: em torno de quatro geradores elétricos de propulsão de 220V de corrente contínua associados à quatro motores elétricos à corrente contínua de propulsão colocados no eixo propulsor entre o mancal de escora de cada eixo e seu respectivo hélice. No esquema citado, por ser utilizado em sua grande maioria em navios que exigem alta manobrabilidade há pelo menos dois eixos, nos quais ficam dois motores elétricos por eixo.

Figura 13 - Arranjo de Distribuição Elétrica Padrão

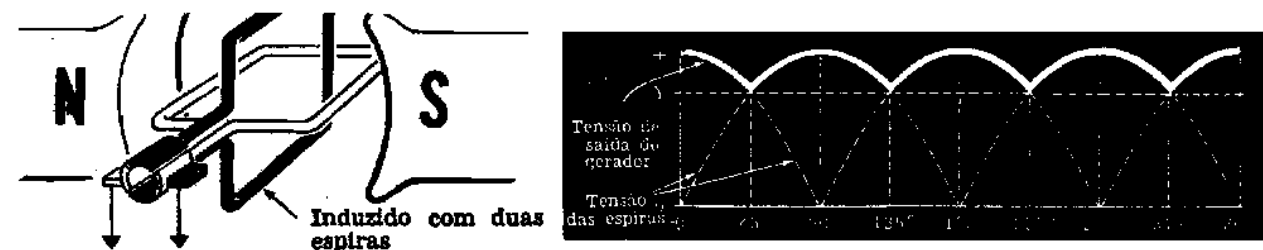


Fonte: Diesel Electric Propulsion Plants – A Brief Guideline How to Engineer a Diesel_electric Propulsion System - MAN

4.1.1 Gerador à Corrente Contínua

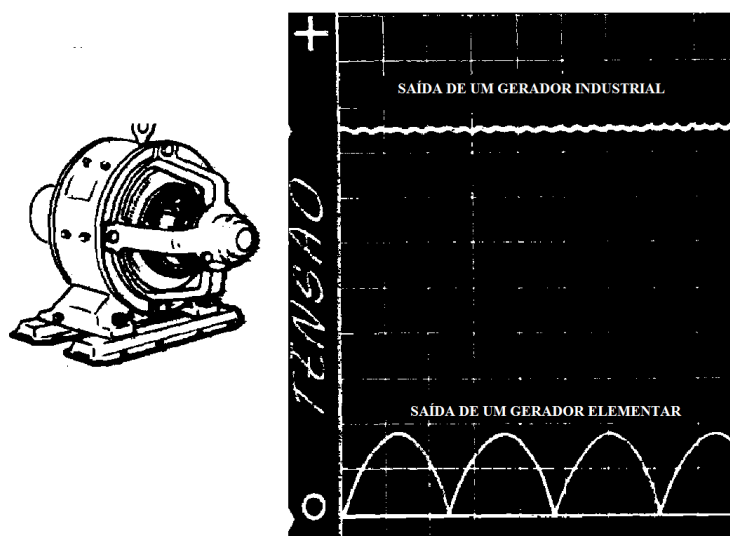
Como pôde ser visto na explicação do gerador elementar do capítulo anterior, um gerador elementar tem como tensão de saída uma tensão alternada. Para que haja uma adaptação para corrente contínua devido a não ser viável para muitos aparelhos elétricos tanto a bordo como no geral, os anéis coletores são substituídos por apenas um de modo que esse seja seccionado em uma quantidade de lâminas de acordo com a quantidade de espiras existentes no gerador. Dessa forma pode-se ter uma corrente contínua pulsante.

Figura 14 - Disposição de um Gerador de Corrente Contínua com duas espiras e com sua respectiva tensão de saída



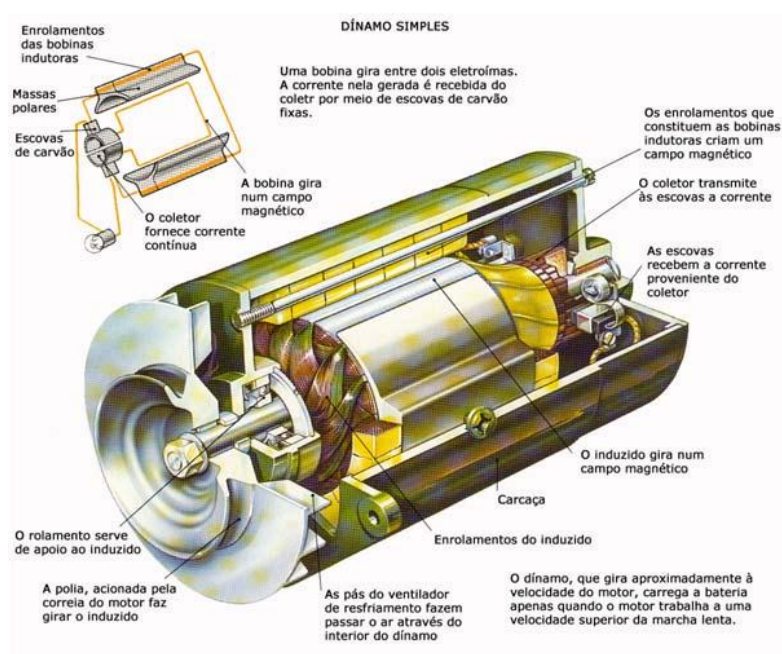
Quanto mais espiras tivermos mais reduzido será o pulso de saída da tensão, estas estão dispostas ao redor do induzido de modo que sempre haja algumas delas cortando as linhas de força do campo magnético em um ângulo reto. Como resultado, a saída do gerador contém uma ondulação muito pequena que pode ser considerada mais uniforme e constante ou uma corrente contínua "pura" evitando problemas de pico de tensão nas cargas que se alimentarão do gerador.

Figura 15 - À esquerda um gerador industrial e à direita os tipos de tensão de saída conforme o gerador



Fonte: VALKENBURGH, Van – **Eletricidade Básica**, VOL. 5

Figura 16 – Gerador de Corrente Contínua em detalhes



Fonte: <http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/imagens/a247.jpg>

4.1.2 Motor Elétrico à Corrente Contínua

O motor à corrente contínua tem os mesmos elementos básicos que o de um gerador à corrente contínua: carcaça, eixo e seus rolamentos, induzido, enrolamentos de bobinas, ímãs indutores de campo, coletores seccionados e escovas de carvão. Seu funcionamento segue o mesmo princípio de um gerador de corrente contínua.

Como foi citado anteriormente, as escovas sofrem desgastes conforme o funcionamento do motor, para que não ocorra danos e possíveis riscos de incêndio devido ao calor produzido é necessária uma manutenção preventiva e constante. Porém como isso varia de acordo com o uso do motor é de grande importância a observação dos operadores para que estes possam avaliar e deduzir de quanto em quanto tempo essa manutenção deve ser realizada.

Uma saída para a dissipação do calor produzido são as pás do ventilador existentes tanto nos geradores como nos motores. O inconveniente é que com a ventilação forçada de tais máquinas faz com que o pó proveniente do atrito das escovas com o coletor se espalhem por toda a máquina internamente, causando problemas de baixa resistência em seus isolamentos e seus campos.

Figura 17 - Motor de Corrente Contínua de Velocidade Variável produzido pela HYOSUNG



Fonte: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/52755-2724499.jpg

5 SISTEMA AZIPOD

O sistema AZIPOD (Azimuthing Podded Drive) é um sistema registado pelo grupo Asea Brown Boveri (ABB). No qual o termo que significa “POD” (Propulsion with Outboard Electric Motor) + Azimuth (por conta da capacidade de giro de 360° que, com o auxílio do efeito de leme, pode fornecer empuxo em qualquer direção, diferentemente do que se vê no sistema convencional).

A propulsão AZIPOD é um sistema de propulsão orientável sem engrenagens onde o motor de acionamento elétrico está em uma rabeta submersa fora do casco do navio. O sistema Azipod de propulsão a hélice é do tipo de passo fixo, onde a velocidade do hélice é controlada.

Um navio com Propulsão AZIPOD não precisa de lemes, longos eixos principais ou propulsores transversais popa.

Segundo o fabricante, “O AZIPOD é um motor elétrico fixado na parte externa do casco. O seu induzido é o eixo propulsor, que possui hélices de passo fixo, desta forma o sentido e a velocidade do hélice são controlados por um inversor de frequência colocado no interior do casco. Esta tecnologia é extremamente eficaz na manobrabilidade da embarcação e sua potência pode atender aos mais variados tipos de embarcações.

Figura 18 – Alguns Tipos de AZIPODs fabricado pela ABB.



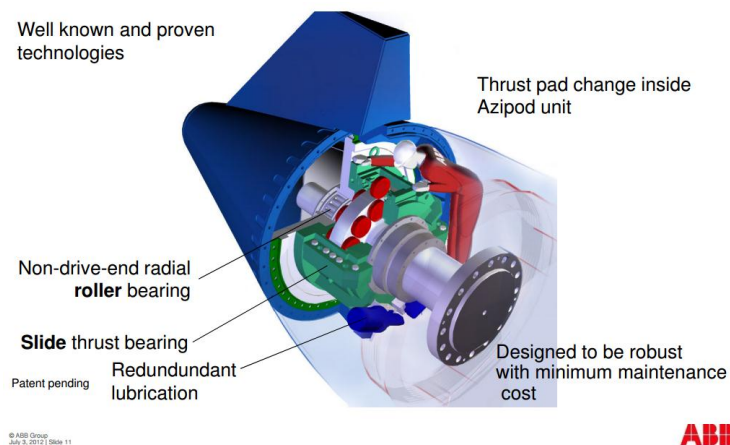
Fonte: https://library.e.abb.com/public/698a6b4d64bf474e868cd9785597d8fc/ABB_Azipod_Brochure_lores.pdf

O sistema é uma combinação de dois sistemas convencionais, direção e propulsão. No sistema de propulsão convencional, um grande motor de dois tempos por exemplo, 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 (máquina do leme) de tal sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice recebendo a sua descarga.

No entanto, no arranjo AZIPOD, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e montados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice, o qual é acionado por um motor elétrico e girado por um mecanismo similar ao de um leme, que está conectado ao sistema. O motor é localizado dentro de um casulo selado e, ao seu rotor é acoplado externamente o hélice. 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 hélice pode ser controlada.”

Figura 19 – Unidade Azipod detalhada



Fonte: <http://cruiseind.com/wp-content/uploads/2013/11/azipod-3.png>

5.1 Componentes Principais do Sistema AZIPOD

O sistema AZIPOD é um tipo de sistema de propulsão elétrica que consiste de três componentes principais:

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).

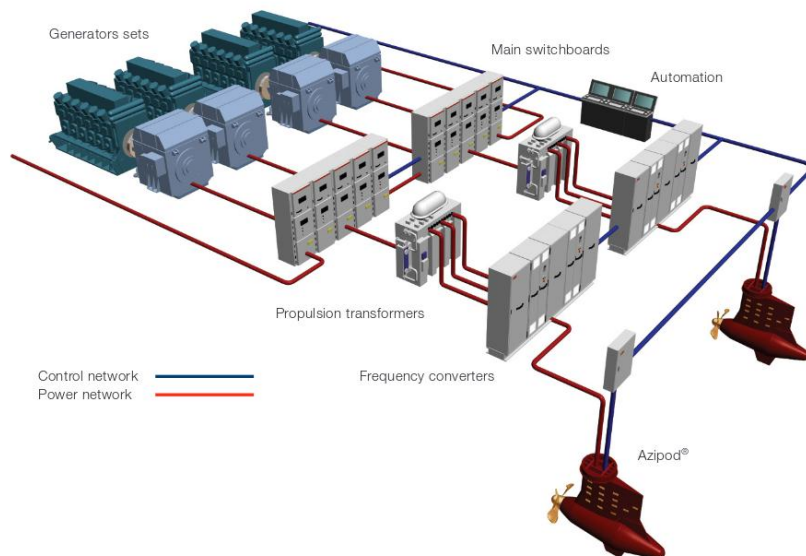
Motor de Propulsão:

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

Controlador/Conversor 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 20 – Planta Propulsora Sistema AZIPOD



Fonte: https://portulanodigital.files.wordpress.com/2015/01/77-05_dieselectricoabb.png

5.2 Benefícios da Propulsão AZIPOD

A propulsão AZIPOD fornece uma maior segurança, proporciona maior eficiência dos combustíveis e redução do custo do ciclo de vida dos mesmos, é o sistema de propulsão que menos agride o meio ambiente, permite um maior conforto a bordo, possui um arranjo geral mais fácil e mais carga útil, permite uma instalação simples e rápida e tem um processo de construção naval com as vantagens de investimento.

Na condição de gelo pesada, a propulsão AZIPOD traz consigo características sem concorrência na operação de gelo. A propulsão AZIPOD é de construção muito simples e com um bico fornece desempenho de alta pressão.

5.3 Nova Geração AZIPOD

A última geração Azipod é conhecida como a Azipod CRP. É o nome de um sistema de propulsão aparecido há alguns anos e que vem sendo introduzido em alguns tipos de navios. Caracteriza-se por funcionar com 2 hélices em linha, girando em sentidos opostos e montados num pedestral rotativo, funcionando também como leme. Tecnicamente chamado CRP (“contra-rotating pod”), o equipamento consiste em uma única unidade instalada em modo de contra-rotação, reduzindo a resistência ao arrasto e aumentando a eficiência em relação aos mecanismos manobráveis tradicionais, em

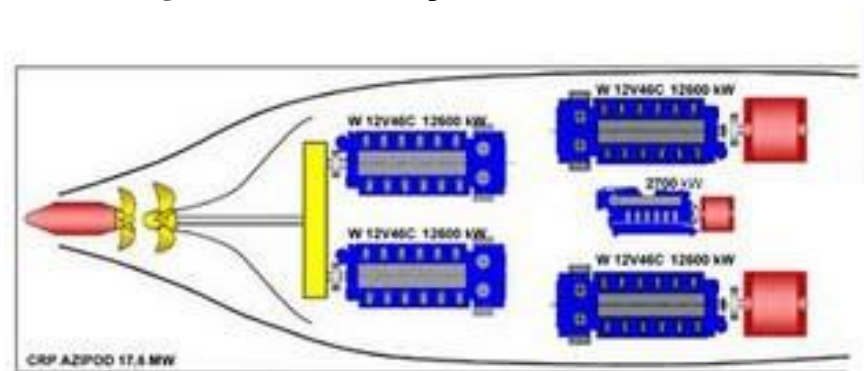
razão da incorporação do efeito de contra-rotação. É adequado para uma ampla gama de navios petroleiros, de transporte de gás, RO-RO e RO Pax.

Figura 21 – AZIPOD CRP



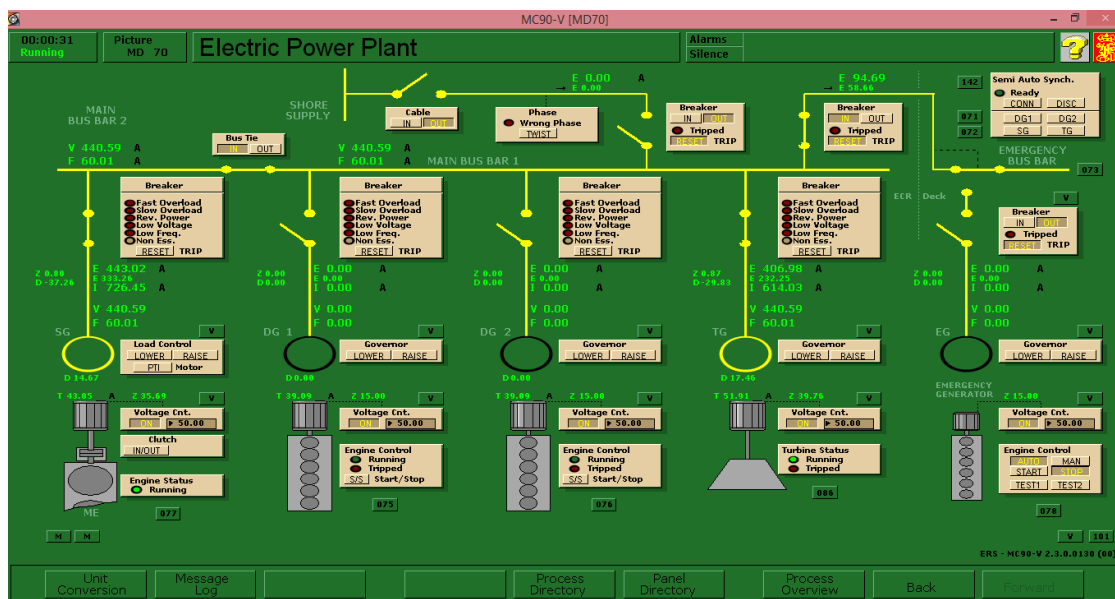
Fonte: http://www07.abb.com/images/librariesprovider91/Marine/Jaana_modified/crp-illustration_390c180dce3c1f463c09537ff0000433538.jpg?sfvrsn=1

Figura 22 – Planta Propulsora do AZIPOD CRP



Fonte: <https://navalunivali.files.wordpress.com/2009/08/crp-azipod.jpg?w=468>

Figura 23 - Disposição com Barramento Duplo do Simulador Kornberg Neptune Simulator



Fonte: Kornberg Neptune Simulator

6 VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Os tópicos que se seguem mostram a vantagem de se utilizar a propulsão elétrica em navios mercantes:

6.1 Flexibilidade da disposição

A vantagem de uma transmissão elétrica é que seus motores principais e seus geradores, não são obrigados a ter qualquer relação particular com a carga como um cabo de execução e é muito versátil em uma transmissão média. Em um sistema propulsor de navio, é possível montar os motores a diesel, turbina a gás, etc. Em locais mais adequados para eles e seus serviços associados, de modo que podem ser afastados do eixo do hélice. Containers de grupos de diesel geradores são localizados no convés principal do navio e têm sido usados para fornecer energia de propulsão e algumas outras embarcações tiveram um gerador de 10 MW montado em bloco na popa da embarcação, no convés de um RO-RO com o intuito de auxiliar na propulsão do navio. Um exemplo da flexibilidade fornecida por sistema de propulsão elétrica está em um semi-submersível, com os geradores no convés principal e os motores de propulsão nos pontões na parte inferior das pernas de suporte.

6.2 Diversidade de Carga

Determinados tipos de navios tem uma exigência para quantidades substanciais de energia elétrica para os serviços do navio quando a demanda do sistema de propulsão são baixos. Petroleiros são um exemplo desta situação e navios ANVs (Advanced Naval Vehicle – Veículo Naval Avançado) com uma carga substancial de descarregamento de carga também o qualifica. Navios de passageiros têm uma carga elétrica substancial que, embora relativamente constante, envolve um tamanho significativo da planta geradora. Essas são as vantagens em ter uma única instalação central de geração de energia que pode atender a propulsão e todas as outras cargas do navios, conforme necessário.

6.3 Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Consequentemente, os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado por incêndio, alagamento ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado. A facilidade para o

redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma elevada gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas.

6.4 Funcionamento econômico da carga parcial

Este é um conceito que é melhor alcançado quando existe um sistema de alimentação propulsor com geração central de potência e serviços de navios, como nos navios de passageiros por exemplo. É provável que uma instalação típica teria entre 4 a 8 conjuntos de diesel geradores e com funcionamento paralelo de todos os conjuntos torna-se muito fácil de combinar a capacidade de produção disponíveis para a demanda de carga. Numa instalação de quatro motores por exemplo, aumentando o número de conjuntos em operação de dois que são totalmente carregados para três parcialmente carregado irá resultar nos três conjuntos que operam a 67% do fator de carga que não é ideal, mas também não é uma condição de operação séria. Para operar conjuntos geradores não é necessário estar na situação parcialmente carregado para fornecer a capacidade de reposição para ser capaz de servir para a perda súbita de um conjunto, porque a redução da carga de propulsão pode estar disponível instantaneamente, e na maioria dos navios uma curta redução de tempo na potência da propulsão não constituem um perigo. O regulador de propulsão irá monitorar continuamente a presente capacidade do gerador e qualquer capacidade de sobrecarga do gerador resultará imediatamente em uma controlada limitação de potência para a propulsão dos motores. Durante as manobras, os requisitos de energia da propulsão estão abaixo do sistema capacidade e falha de um gerador não é suscetível de apresentar um risco situação.

6.5 Redução dos Custos de Manutenção

Uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

6.6 Facilidade de controle

O uso generalizado das hélices de passo variável (CPP) fez com que as instalações de controle que eram tão prontamente disponíveis com acionamentos elétricos não sejam mais capazes de comandar da mesma forma. Acionamentos elétricos são capazes das mais exigente demandas em relação à dinâmica de desempenho que, em geral, excede por uma grande margem de qualquer coisa que seja requerida de um sistema de propulsão de navios.

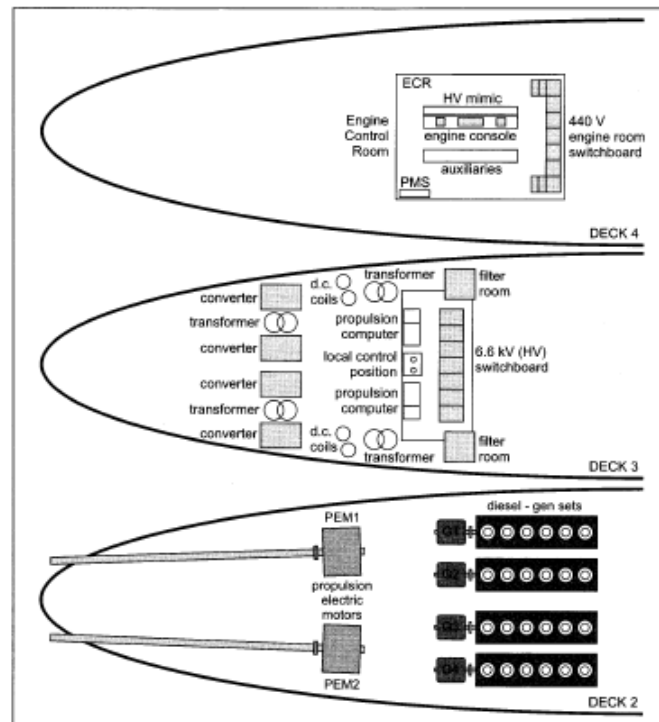
6.7 Redução dos Custos de Manutenção

Uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

6.8 Pouco barulho e vibração

Um motor eléctrico é capaz de fornecer um funcionamento com características muito baixas de vibração. Isto é de importância em navios de guerra por exemplo, navios de pesquisa oceanográfica, navios de cruzeiro e em navios mercantes para o conforto nas acomodações e na redução do prejuízo audível dos operadores nas praças de máquinas, por diferentes razões, uma assinatura de baixo ruído é necessária.

Figura 24 – Disposição da Planta Propulsora



Fonte: HALL, Dennis T. – **Practical Marine Electrical Knowledge**, Second Edition

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como intuito mostrar o funcionamento dos principais sistemas de propulsão elétrica usados em navios mercantes pondo em pauta também que eles são utilizados em outros tipos de embarcações.

Uma das grandes vantagens desse tipo de planta propulsora é a sua flexibilidade. A energia produzida pode ser fornecida não só para o conjunto do eixo propulsor mas também em outras necessidades do navio para carregamento por exemplo. Dentre outras vantagens, pode-se citar a baixa emissão de poluentes no meio ambiente, o que é uma grande vantagem para o armador devido a este ter de seguir a SOLAS (Safety of Life at Sea – Salvaguarda da Vida Humana no Mar) e a MARPOL (International Conventional for the Prevention of Pollution from Ships – Convenção Internacional da Poluição por Navios).

REFERÊNCIAS

ALVES, Renata Nunes – **Propulsão Elétrica de Navios**. 2007.

ARRINGTON, J., W., 1998, **The Analysis of Components, Designs, and Operation for Electric Propulsion and Integrated Electrical System**, Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS), Monterey, California, USA.

Azipod. Disponível

em:<https://library.e.abb.com/public/698a6b4d64bf474e868cd9785597d8fc/ABB_Azipod_Brochure_lores.pdf> Acessado em: 5 ago. 2016.

BORTOLETTO, Fábio José – **Inversores de Frequência**. Janeiro/2009.

DE ARAÚJO, Daniel Mesquita. **Eficiência da Propulsão Elétrica nos Navios**. 2013.

DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., 1999, **An Historical Overview of Navy Electric Drive**, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment.

GARCIA,Alex Ribeiro. **A Evolução da Propulsão Elétrica e suas Vantagens**.2014

HALL, Dennis T. – **Practical Marine Electrical Knowledge**, Second Edition.

Propulsão. Disponível em:<<http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-propulsion/azipod>>_Acessado em: 5 ago. 2016.

SEIXAS, Francisco de. Power Point ELO IND 7 2016.Curso Eletrônica 2.

Sistema Azipod. Disponível em:<<https://navalunivali.wordpress.com/2009/08/18/crp-azipod/>> Acessado em: 5 ago. 2016.

VALKENBURGH,Van – **Eletricidade Básica**, vol. 5.