

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO
DE OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA 2/2011**

MOTORES DE PROPULSÃO ELÉTRICA

Por: Felipe Rafael Silva dos Santos

Orientador

Prof. Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva

Rio de Janeiro

2011

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO
DE OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA 2/2011**

MOTORES DE PROPULSÃO ELÉTRICA

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante.

Por: **Felippe Rafael** Silva dos Santos

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar, à minha mãe, que me auxiliou em tudo que ela pôde para que eu pudesse estar escrevendo estas palavras, a todos os professores que me deram suporte, a meu professor orientador, que me inspirou na escolha deste tema e por ultimo, mas não menos importante a minha namorada que me apoiou a todo momento.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe, minha namorada e a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta em linhas gerais os sistemas de propulsão elétrica de embarcações e mostra os arranjos básicos de sistemas reais, com exemplos de embarcações atuais em funcionamento.

Pode se apreciar neste trabalho, como o desenvolvimento das técnicas de propulsão elétrica vem evoluindo exclusivamente para suprir as necessidades do mercado em embarcações offshore.

Neste sentido, é importante comparar os diferentes sistemas de propulsão elétrica verificando as vantagens de cada um, para que possamos aplicar adequadamente em cada tipo de operação, funcionamento e as soluções apresentadas até então.

Com estes estudos é possível verificar que com esta tecnologia iremos ocupar menos espaço e obter melhores resultados através desta tecnologia, diminuindo os custos com manutenção e paralisação.

ABSTRACT

This paper provides an overview of electric propulsion systems for ships and shows the basic arrangements of real systems, with examples of ships in operation today.

You can appreciate this work as the development of electric propulsion techniques has evolved exclusively to the needs of the market in offshore vessels.

In this sense, it is important to compare the different electric propulsion systems verifying the advantages of each, so that properly apply We posed in each type of operation, function and the solutions presented so far.

With these studies we can see that with this technology will take up less space and get better results using this technology, reducing maintenance costs and downtime.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 - BREVE HISTÓRICO SOBRE PROPULSÃO ELÉTRICA	10
2 - COMPARAÇÃO ENTRE PROPULSÃO ELÉTRICA E MECÂNICA	16
3 - PROPULSÃO DE CORRENTE CONTÍNUA	17
3.1 - propulsão de motores com escova	17
3.2 - sistema de motor com escova	20
4 - PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA	21
4.1 - introdução	21
4.2 - vantagens	21
4.3 – propulsão elétrica com retificador e inversor	23
4.3.1 – sistema retificador – inversor	24
4.3.2 - sensor de posição	24
4.3.3 – ligação básica de um enrolamento com tiristores	25
5 - DETERMINAÇÃO DO SISTEMA PROPULSIVO	26
6 - VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	28
6.1 – redução do consumo de combustíveis	28
6.2 - redução da tripulação	29
6.3 – flexibilidade do projeto	30
6.4 - aumento da capacidade de sobrevivência do navio	31
6.5 - aumento da vida útil do navio	31
6.6 - redução do custo de manutenção	32
6.7 - redução da emissão de poluentes	33
6.8 - redução da assinatura acústica	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

INTRODUÇÃO

Esta monografia mostrará os sistemas e componentes de uma instalação de propulsão elétrica mais comum em embarcações de passageiros, tomando como base um exemplo real do navio “Six Blue Dream” da empresa Pulmantur Cruises.

Com o passar dos anos a evolução tecnológica vem dando meios para implementar cada vez mais o conforto para a sociedade, bem como melhorar as condições de trabalho nas diversas áreas, neste sentido, pretende-se apresentar a necessidade da utilização da propulsão elétrica em navios de passageiro, mostrando claramente seus custos, prós, contras e fatores ecológicos.

A propulsão elétrica está sendo largamente adotada nos navios de passageiro. Antigamente, um transatlântico não oferecia o conforto que existe hoje, em termos de ruídos e vibrações, os quais são fatores importantíssimos que contribuem significativamente com o desgaste acelerado das peças e estrutura de um navio.

A necessidade de que rebocadores ficassem auxiliando suas manobras ao pararem em certos pontos turísticos também perdeu espaço para a propulsão elétrica, a qual foi adotada junto com hélices laterais e modernos sistemas de propulsão, os quais foram as melhores soluções para eliminar os altos custos nas manobras.

CAPÍTULO I

Um Breve Histórico sobre a Propulsão Elétrica

A propulsão de navios e submarinos utilizando motores elétricos não é uma inovação tecnológica recente. A primeira aplicação de propulsão elétrica no setor naval ocorreu no século XIX, com a construção e operação de uma pequena lancha movida a baterias para o transporte de passageiros na Rússia.

A utilização da propulsão elétrica também não é um conceito novo para a Marinha Americana (USN). Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter” (Fig. 1), foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

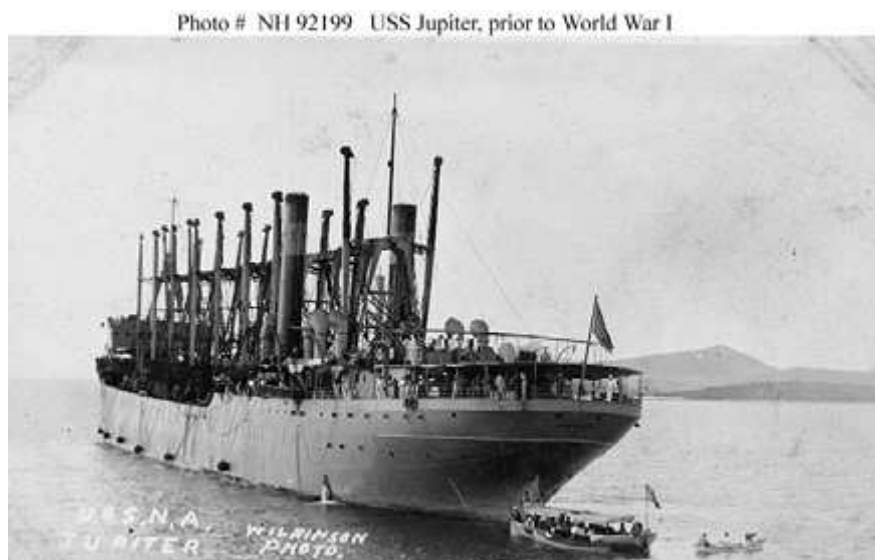


Fig. 1: USS “Jupiter”

O sistema de propulsão do USS “Jupiter” consistia de 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 navio aeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley” (Fig. 2). O navio apresentou uma elevada robustez e permaneceu em plena capacidade operativa até 1942, quando foi afundado em combate.



Fig. 2: USS “Langley”.

O sucesso obtido na utilização da propulsão elétrica e a percepção dos seus benefícios estimularam o 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” (Fig. 3) com 30 MW de potência instalada, o segundo e o terceiro navios aeródromos da Marinha Americana, USS “Lexington” e USS “Saratoga”, com potência instalada de 135 MW.



Fig. 3: USS “New Mexico”

Durante a Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de escolta dotados de 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 [8]. É interessante 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.

Entretanto, 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. Aliado a 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, 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 a década de 1980 a 1990, os avanços tecnológicos, na área de Eletrônica de Potência, tornaram a transmissão elétrica de energia mais eficiente e compacta, e desta forma, possibilitou o retorno do emprego da propulsão elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, 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.

A Marinha Americana investe elevados recursos financeiros em quatro frentes de pesquisa em motores para a propulsão:

- Motores de Indução;
- Motores Síncronos de Imãs Permanentes;
- Motores Síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura e;
- Motores Homopolares em Corrente Contínua (CC).

O motor de indução multifásico (15 fases) oferece um *design* robusto e elevada densidade de potência elétrica (Fig. 4 e Fig. 5). Este tipo de motor já foi escolhido para ser utilizado pela Marinha Inglesa, em seu navio de escolta (Contratorpedeiro “Type 45”). Conforme as informações de Clive Lewis no documento da referência, o Motor de Indução Avançado (AIM) encontra-se em fase final de comissionamento, e com resultados bastante promissores.



Fig. 4: Motor de Indução Avançado (AIM).



Fig. 5: Motor de Indução Avançado (AIM) comparado a uma pessoa.

Os motores síncronos de ímãs permanentes, quando comparados com os motores de indução de mesmo tamanho, possuem maior densidade de potência elétrica e menor nível de ruído acústico. Este tipo de motor já foi escolhido para ser empregado nos novos navios combatentes multi-missão de superfície da Marinha Americana.

Os motores síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura (HTSAC) apresentam significantes reduções no volume e peso, quando comparados com os motores elétricos convencionais, devido às suas bobinas supercondutoras com elevados níveis de densidade de corrente elétrica (Fig. 6 e Fig. 7). Este tipo de motor apresenta a densidade de potência elétrica cerca de cinco vezes maior do que aquela encontrada em motores convencionais de mesmas dimensões físicas. Outra característica deste motor é o reduzido nível de ruído e a elevada eficiência (devido à redução das perdas elétricas no rotor), particularmente em situações com velocidade reduzida e demandas parciais de cargas. Conforme as informações de Bobby A. Bassham, no documento da referência, as pesquisas com este tipo de motor estão sendo desenvolvidas pela empresa “American Superconductor Corporation” - (AMSC).



Fig. 6: Motor Síncrono com material supercondutor em alta temperatura.



Fig. 7: Motor HTSAC (5 MW – 230 rpm).

Os motores homopolares com materiais supercondutores em corrente contínua (CC) (SDCHM) também utilizam bobinas confeccionadas com materiais supercondutores em seu rotor e apresentam peso e volume reduzidos e estratégias de controle menos complexas (Fig. 8). Conforme as informações de Bobby A. Bassham, no documento da referência, as pesquisas com este tipo de motor estão sendo desenvolvidas pela empresa “General Atomics Corporation”.

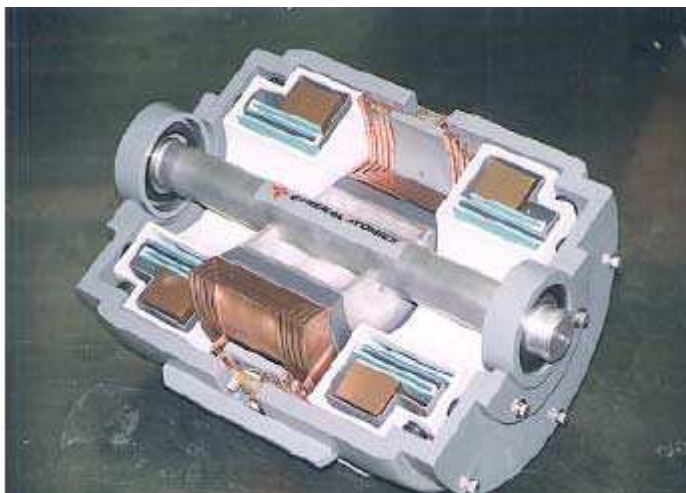


Fig. 8: Protótipo do Motor Homopolar com Material Supercondutor em CC.

CAPÍTULO II

Comparação entre a Propulsão Elétrica e a Propulsão Mecânica

Segundo as informações de Whitman E. C., no documento da referência, o conceito de Propulsão Elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, é a tecnologia mais promissora nos desenvolvimentos da engenharia naval atual, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás há 50 anos.

Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico.

No Sistema de Propulsão Elétrica ao invés de dois sistemas de potência separados, cada um com sua limitação de carga específica, passa-se a dispor de uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda.

Portanto, o conceito de Propulsão Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares (Fig. 9). E com a eletrificação

dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

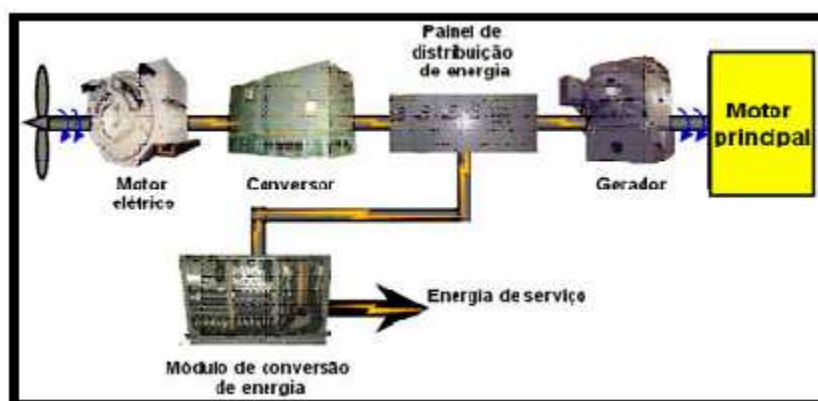


Fig. 9: Sistema de Acionamento Elétrico Integrado.

Nos navios dotados de Propulsão Mecânica tradicional, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação não opera na faixa do rendimento ótimo, gerando desta forma um inevitável desperdício de combustível.

No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que pode ser uma turbina a vapor, um motor diesel, ou uma turbina a gás, é acoplado diretamente ao eixo propulsor do navio através da engrenagem redutora.

Neste tipo de configuração do sistema de propulsão é necessário um diesel-gerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, que fornecerá a potência elétrica para o atendimento da carga hotel, do sistema de combate e demais auxiliares de bordo.

A Propulsão Elétrica pode ser descrita de forma mais precisa como a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelos propulsores do navio (Fig. 10). Este sistema de propulsão consiste essencialmente na transmissão elétrica para a mudança entre a relativamente alta velocidade e baixo torque do dispositivo de acionamento principal para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores.

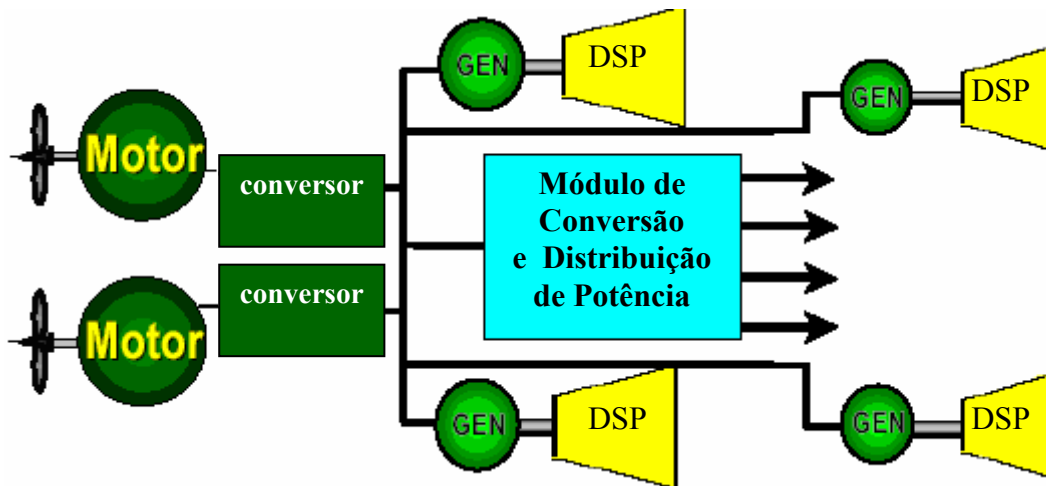


Fig. 10: Diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Elétrica.

No sistema de Propulsão Elétrica a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, nos períodos em que o navio opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica. E considerando que, o navio militar opera aproximadamente 85% do tempo em atividades com baixas velocidades de navegação, tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

CAPÍTULO III

Propulsão de corrente contínua

3.1- Propulsão de motores com escova

Atualmente a propulsão elétrica com o uso de motores com escova está escassa. Embora ainda existam algumas embarcações que trabalham com propulsão de corrente contínua que utiliza o velho motor com escovas. O MEP em corrente contínua é um motor do tipo serie universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas. O uso contínuo e as grandes

variações de corrente em manobras provocam desgaste acelerado de ambos e requerem constante manutenção das escovas e dos coletores.

A quantidade de controles é enumerada para permitir um bom desempenho nas manobras. A maioria destes controles consiste de chaves manuais e reostatos, todos com grande dissipação de calor. A redução de resistências no seu reostato de campo é o que faz variar a aceleração do propulsor. A tensão nos GEPs é estabilizada pelos seus reostatos de campo e também pelos reguladores de velocidade dos motores de combustão.

O tempo de resposta de um motor com escovas varia muito de acordo com o tamanho do motor, mas é considerado atualmente lento, como em um motor de 4000 kW, que leva aproximadamente sete segundos para parar. Normalmente estes motores são utilizados em conjunto com dois ou mais motores similares propulsionando um único eixo e com caixa redutora, pois eles possuem uma potência limitada pelo próprio consumo das escovas, o qual aumenta muito em potências elevadas.

O atrito entre as escovas e o coletor é inevitável, provocando o desgaste da escova e começando a surgir as centelhas. O processo é cumulativo, aumentando exponencialmente as centelhas produzidas e, conseqüentemente, o calor produzido. O excesso de calor nas escovas pode destruir totalmente o material isolante entre as teclas e entre as teclas e o eixo, causando um acoplamento entre teclas e até uma avaria maior, como um curto.

O momento certo de se fazer uma manutenção ainda é primitivo, observando o aumento do centelhamento no coletor e até mesmo observando o tamanho das escovas, já que normalmente estes motores têm janelas para inspeção das escovas. A limpeza do coletor é feita com materiais não condutores e não abrasivos, devendo ser feita cuidadosamente para não violar o material isolante que separa as teclas. Em casos de desgaste excessivo nas teclas é feita uma deposição com liga de níquel recobrando as teclas. Por ocasião da manutenção, as escovas são analisadas e as que tiverem sofrido um desgaste maior são substituídas.



Figura 11: Janela de Inspeção do Motor de Propulsão do Rebocador: Richard M. Currence, com visão das escovas.

Os antigos GEPs e MEPs em corrente contínua não podiam ser enclausurados como os modernos motores de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo. O calor gerado pela comutação e atrito entre as escovas e o coletor, somado ao calor dos campos da máquina precisavam ser dissipados, o que normalmente era feito por ventoinhas acopladas ao eixo do motor, como nas furadeiras manuais atuais.

A ventilação forçada de ar arrasta para os campos da máquina o pó produzido pelo atrito da escova com o coletor, e até mesmo pequenos pedaços das escovas. Por estas razões além da umidade e da poeira da praça de maquinas, tanto o MEP quanto o GEP recebem uma grande quantidade de partículas de carbono, o que, por conseguinte, aumenta a vulnerabilidade e diminui a resistência de isolamento nos campos.

Mesmo com todos estes problemas, a propulsão elétrica em corrente contínua era adotada, pois era uma solução para as operações das embarcações de superfície que a

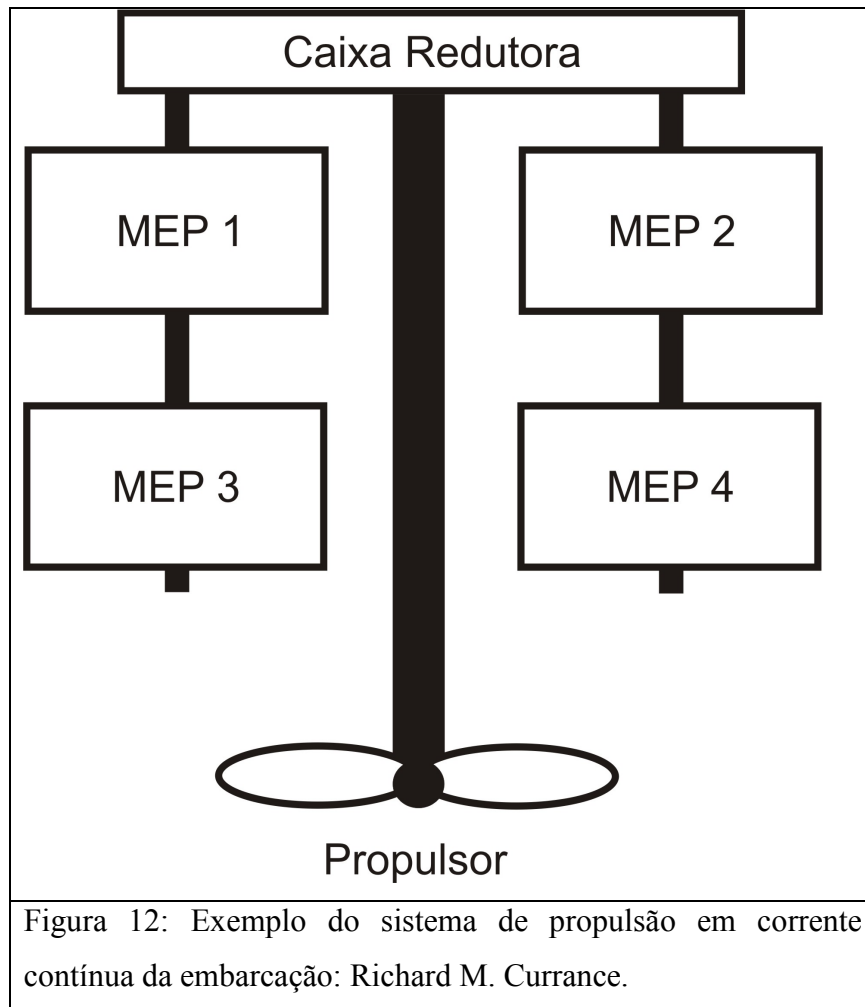
empregavam, visando primordialmente a manobrabilidade, que é o que a maioria das embarcações atuais necessita.

Os rebocadores com propulsão convencional, do tipo MCP, ligado diretamente ao conjunto eixo-hélice dá partida na sua propulsão com rotações aproximadas a cinco nós, porque em rotações menores o MCP para de funcionar. É conveniente lembrar que em baixas rotações o consumo de combustível pode ser demasiado e o motor carbonizado com maior velocidade, já que a queima não se dá por completa. A solução consiste em partir o MCP e pará-lo logo em seguida. Procedimento este que é limitado pela energia acumulada nas ampolas de ar para sucessivas partidas, número que pode variar em torno de dez a quinze vezes.

Os rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua têm os seus motores diesel sempre operando, acionando os GEPs, mesmo com o navio atracado ou fundeado. O acionamento dos hélices propulsores pelos MEPs pode ser feito RPM por RPM, a partir do zero, ajustando o deslocamento da embarcação conforme as necessidades da faina.

3.2- Sistema de Motor com Escova

O sistema de um motor com escova é um esquema simples. O sistema é normalmente composto por um grupo diesel-gerador com quatro geradores de altíssima potência, um grupo transformador, um grupo retificador de tensão baseado em Retificador Controlado de Silício “SCR” e um grupo de motores, normalmente operando em conjunto de quatro motores por eixo propulsor, os quais ficam normalmente instalados em pares onde cada par é montado em um único rotor, estes pares destes motores são acoplados a uma caixa redutora, para só em seguida ser conectado ao eixo propulsor.



Os grupos geradores têm uma profunda dependência de um sistema de automação, pois de acordo com a necessidade de potência, a automação coloca ou retira os geradores no barramento, para suprir a demanda energética e evitar gastos desnecessários. Para que o sistema de automação possa colocar mais um gerador no barramento, este deve estar pronto para tal, ou seja, em “stand by”.

CAPÍTULO IV

Propulsão em corrente alternada

4.1 – Introdução

A tecnologia de corrente alternada (AC) foi introduzida para a propulsão naval no final dos anos 50, mas os sistemas de propulsão ainda não tinham sido baseados em tiristores controlados diretamente por corrente contínua (DC), o qual teve a sua fase embrionária no início dos anos 80. Com a demanda de potência de propulsão crescendo em torno de 10MW por eixo, os sistemas (DC) tiveram um aumento significativo em seu tamanho e peso requeridos na praça de máquinas, o que levou o sistema de propulsão elétrica baseado em motores com escova terem seus dias contados.

4.2 – Vantagens

Nos últimos anos, com a introdução da nova tecnologia de corrente alternada que está em evidência no mercado atual, a propulsão elétrica se tornou muito mais atrativa para os navios mercantes, especialmente para os navios de passageiros, já que no sistema de propulsão elétrica baseada em corrente alternada não requer manutenção constante como nos de corrente contínua e seu peso e tamanho são consideravelmente menores que os enormes MCPs.

Quando se fala em propulsão por motores de combustão interna, é bom lembrarmos que estes necessitam de um grande espaço, principalmente na altura. Outro motivo que deve ser levado em consideração é a sua enorme emissão de ruídos e vibrações, que além de diminuir a fidelidade e a vida útil dos equipamentos atrapalham na navegação fazendo com que a embarcação tenha uma maior resistência ao movimento e diminuindo assim sua velocidade final.

O tempo de resposta também melhorou muito em relação aos antigos motores de corrente contínua, que antes eram lentos na resposta e com muitas limitações, como problemas para a reversão e controle de velocidade, pois seus controles de velocidade e reversão eram feitos alterando as ligações entre os campos e colocando-se banco de resistores nas ligações entre eles.

Estes inconvenientes foram superados pelos motores de propulsão elétrica por corrente alternada, encorajando ainda mais os armadores. Mais espaço e menos peso, enche os alhos de qualquer armador, inclusive para os navios de passageiros, os quais buscam qualidade e eficiência sempre, por terem certa exigência de excelência nos seus serviços.

Inúmeras são as vantagens introduzidas pelo sistema de propulsão elétrica, o total controle da propulsão, como no motor de corrente contínua, podendo ser controlado, acelerado e reduzido a cada volta, pouco a pouco, e dispensando assim o ar de partida, que em manobras de longa duração tornava-se um gargalo, limitando o número de partidas do motor.

O espaço economizado é muito maior se analisarmos com mais cautela. Com os motores de propulsão elétrica, a utilização de grandes estoques para peças de reposição fica reduzida a alguns componentes, e a economia mais uma vez fala mais alto.

4.3 – Propulsão Elétrica com Retificador e Inversor

Os sistemas com retificadores e inversão só teve sucesso com o incremento dos tiristores, que até hoje estão em pleno desenvolvimento. Com o advento dos tiristores foi possível controlar a frequência de onda de energia que se envia para o motor, modulando assim a onda certa para cada operação, fazendo com que o campo induzido acelere ou atrase de acordo com a resposta do rotor, que é rastreado por um sensor de posição, mostrando exatamente a posição do rotor em relação ao estator.

4.3.1 – Sistema Retificador – Inversor

No sistema retificador-inversor não tem grandes diferenças do sistema de corrente contínua na parte de equipamento, mais sim no sistema de funcionamento como um todo. A principal diferença é o inversor de frequência após o retificador, o qual irá modular em corrente alternada a frequência e o tipo de onda necessário para cada trabalho. A maioria dos inversores de frequência utiliza Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT's) para a ligação dos enrolamentos, que são transistores bipolares com facilidade de acionamento e pequenas perdas, permitindo operação em dezenas de kHz, nos componentes para correntes na faixa de algumas dezenas de Ampères.

Nos sistemas retificador-inversor temos a geração de energia em corrente alternada gerada por grupos diesel-geradores ou por qualquer outro grupo gerador, convertendo-a em seguida em corrente contínua por um retificador para só então ser modulada em frequência e amplitude por um inversor, o qual monitora continuamente através do sensor de posição cada volta do rotor, podendo assim gerar o tipo de onda necessária. Os inversores de potência atuais utilizam a modulação por largura de pulso (PWM).

4.3.2 – Sensor de Posição

O sensor de posição é hoje um inconveniente necessário, pois seu sistema tem um altíssimo custo e sua manutenção é especializada e de difícil acesso, já que existem elementos dentro dos motores. Atualmente a maior barreira a ser vencida na propulsão por corrente alternada é a elaboração de motores sem o sensor de posição ou com um sensor viável.

4.3.3 – Ligação básica de um enrolamento com tiristores

No esquema básico de ligação de um enrolamento com tiristores temos a entrada de energia em corrente contínua em "Vcc", que é controlada pelo sinal de base do tiristor, onde é gerado por um controlador, o qual analisou anteriormente o desempenho do rotor. A energia agora em forma de ondas controladas que sai dos tiristores passam pelo enrolamento do motor em dois ramos, fechando uma onda completa e sendo assim aproveitada ao máximo. Continuamente, o controlador que emite os sinais, compara a resposta do rotor com a forma de onda gerada e em seguida altera de imediato a nova forma de onda até que se tenha uma proximidade maior.

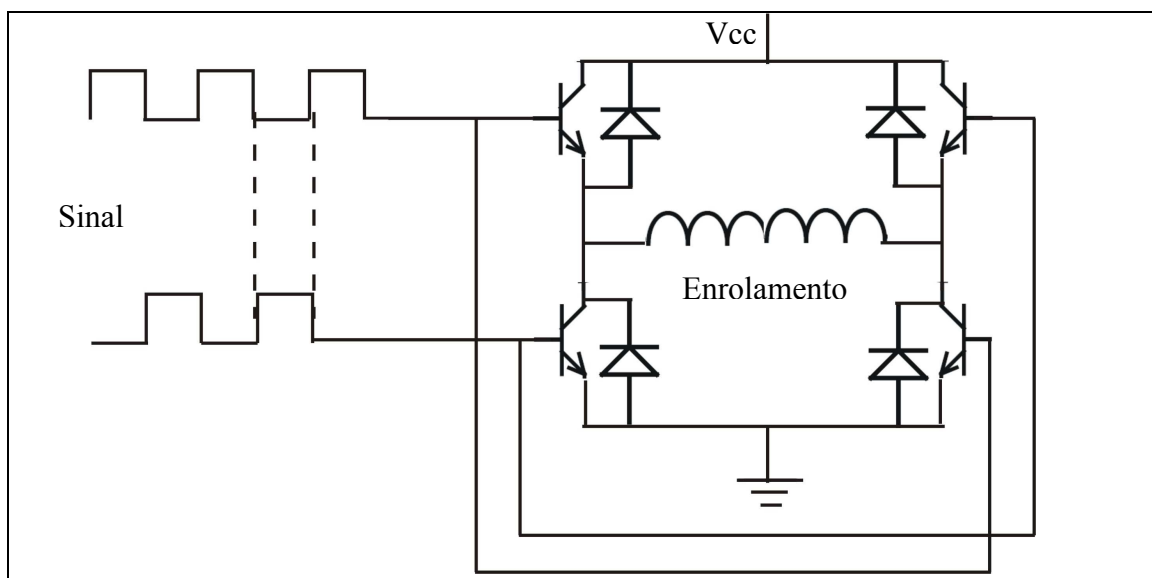


Figura 13: Exemplo de um esquema básico da ligação de um enrolamento de um motor propulsor em corrente alternada com inversor.

CAPÍTULO V

Determinação do Sistema Propulsivo

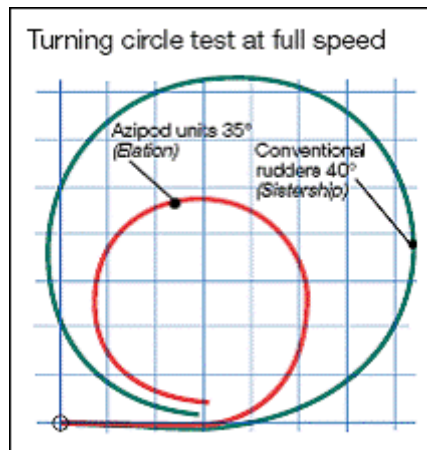
Nesta fase, o potencial do navio deve ser especificado e analisado em ordem para definir o empuxo requerido para navegar, manobrar e "station keeping", assim como a aplicabilidade para as operações pretendidas. Baseada nos objetivos para as operações do navio o tipo de propulsão e as unidades de thruster, sua avaliação e localização no navio deve ser determinada, também como a configuração ótima da divisão da geração de energia e do sistema de distribuição.

Para este projeto em estudo, a escolha do sistema propulsivo foi feita levando em consideração os principais aspectos de operação aos quais a embarcação será submetida. No caso de um navio PSV, aspectos como alto grau de manobrabilidade e a necessidade do sistema de DP (*Dynamic Positioning*) fazem com que a escolha de um sistema não-convencional seja a melhor. A decisão pelo sistema de propulsão Azipod Diesel-Elétrico veio a partir das seguintes características:

- Excelente resposta dinâmica;
- Redução do número de motores;
- Redução do consumo de combustível;
- Redução da manutenção;
- Redução do nível de ruído e de vibração;
- Redução na emissão de gases poluentes;
- Acréscimo da manobrabilidade (figura 14);

A redução no consumo de combustível e emissão de gases poluentes com a propulsão diesel-elétrica comparadas à propulsão mecânica convencional é significativa para navios com perfil operacional diversificado, como é o caso dos PSVs. Reduções de 30 a 40% no consumo anual de combustível têm sido reportados por armadores, e com foco crescente em custos e impactos no meio ambiente gerados pela indústria do petróleo, a propulsão diesel-elétrica tem sido encontrada em um número crescente de PSVs, primeiramente no Mar do Norte, e depois em outras áreas geográficas.

Figura 14



Azipods têm a flexibilidade de produzir o empuxo requerido na direção preferencial e com alta eficiência e precisão. Estas vantagens têm sido utilizadas na maioria dos projetos atuais para DP ou com *thrusters*. Azipods têm se mostrado confiáveis, eficientes e economizadores de espaço em *tankers*, navios de cruzeiro, embarcações quebra-gelo e embarcações de serviço (PSV, AHTS, OSV, ROV).

A unidade azipod é de livre rotação, isto é, pode girar 360° e pode produzir empuxo em qualquer direção. A principal diferença é a integração de um motor elétrico diretamente conectado ao propulsor, dentro de uma unidade pod fechada que se encontra submersa embaixo do casco do navio. A força elétrica é transferida para o motor por meio de cabos flexíveis ou "slip rings" para operação em 360°.

Além das características citadas acima, o Azipod substitui e elimina alguns itens da propulsão convencional, reduzindo custos de manutenção e de reposição, tais como:

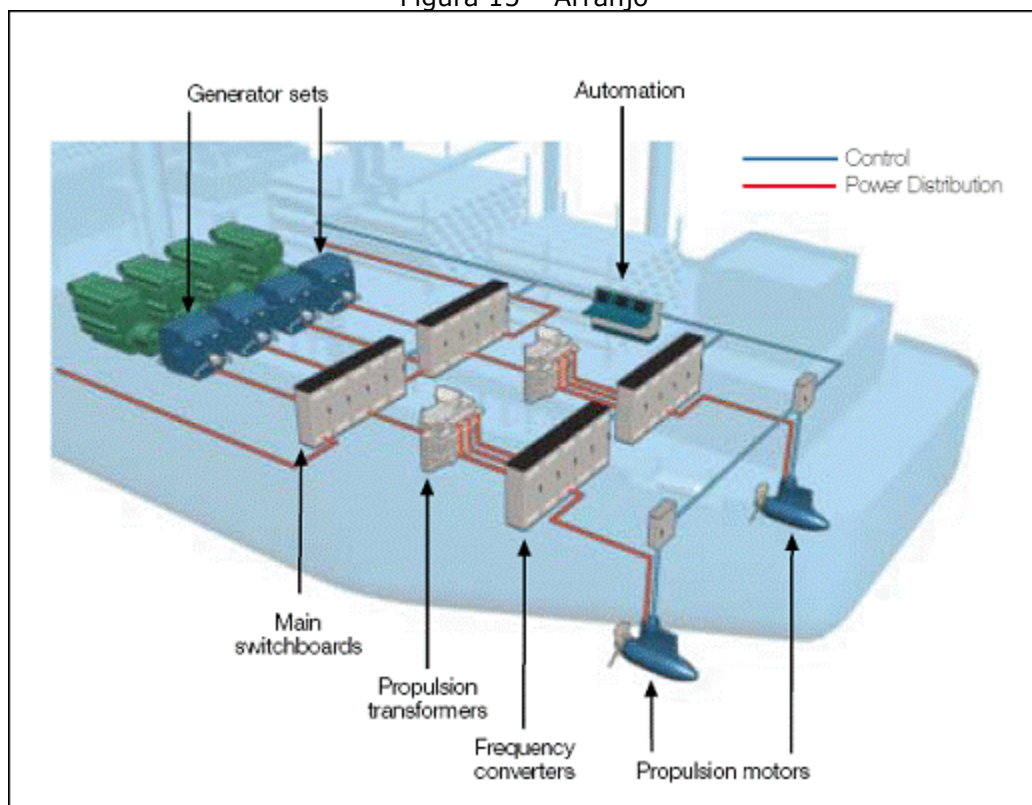
- Motores propulsivos;
- Lemes e máquinas dos mesmos;
- *Stern thrusters*;
- Tubo telescópico e eixo propulsivo, assim como seus mancais;
- Praça de máquinas menor;
- Caixa redutora;
- Necessidade de alinhamento de eixo;

A fonte de força é na maioria das vezes um gerador movido por um motor de combustão interna o qual é alimentado com diesel ou óleo pesado ("heavy fuel oil"). Ocasionalmente podemos encontrar motores a gás e também turbinas a gás e outros tipos de turbinas, especialmente para onde são requeridos altos níveis de força, em navios leves de alta velocidade, ou onde o gás é uma alternativa barata.

Em um sistema de propulsão diesel-elétrica, os motores diesel são normalmente de média para alta rotação, com menor peso e custos de motores similares de baixa rotação usados para propulsão mecânica direta (linha de eixo).

Um arranjo esquemático da propulsão Azipod Diesel-elétrica é mostrada na figura 15.

Figura 15 – Arranjo



CAPÍTULO VI

As Principais Vantagens da Propulsão Elétrica

5.1 - Redução do Consumo de Combustível

Em navios com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice; conseqüentemente, dependendo do perfil de operação do navio, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice. Segundo o documento da referência, a Marinha Americana estimou a eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada, em que comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes para um mesmo navio gaseiro, durante um ano de operação, a Propulsão Elétrica foi a que apresentou os melhores resultados e as maiores vantagens em relação ao consumo de combustível (Fig. 16).

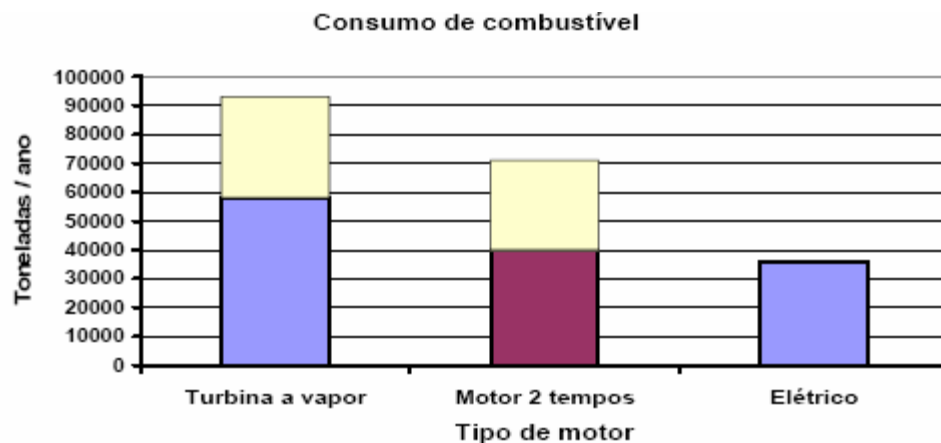


Fig. 16: Consumo de Combustível.

5.2 -Redução da Tripulação

A tendência para os futuros navios elétricos é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com conseqüente redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional.

5.3 -Flexibilidade do Projeto

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor.

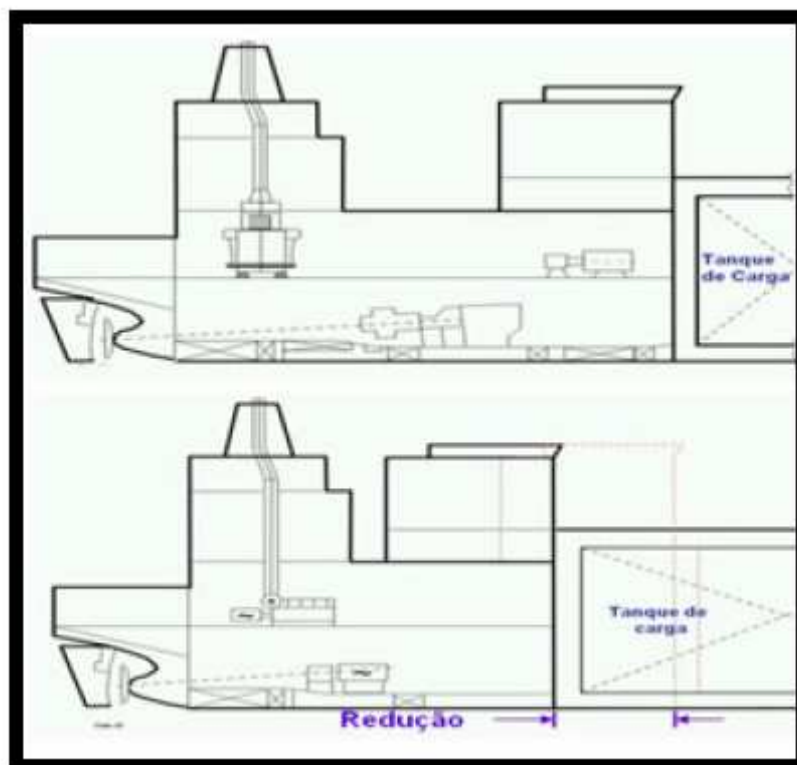


Fig. 17 – Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas.

Observa-se na Fig. 17 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando a máquina diesel no convés superior, e desta forma, reduz-se o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores. Como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pelo navio, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço. A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal, e nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

5.4 - 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. Conseqüentemente 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.

5.5 - Aumento da Vida Útil do Navio

Os navios militares modernos incorporam cada vez mais sensores e armas de alta complexidade tecnológica, que os tornam muito mais potentes do que os navios de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa

progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil dos navios tradicionais. Com o evento da automação dos sistemas de armas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados aos navios, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro. A futura adoção das armas elétricas, que estão atualmente em pleno desenvolvimento, tende a agravar ao extremo esta situação.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, as auxiliares e os sistemas de armas, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, com todos os sistemas vitais em operação.

Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas. Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

5.6 - Redução dos Custos de Manutenção

A viabilidade da existência de uma tecnologia comum dentre as diversas plataformas navais (ex: navios de superfície e submarinos), com a adoção da Propulsão Elétrica, possibilitará a coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação, novos materiais, componentes, sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto e maximizando os custos e a logística.

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.

5.7 - Redução da Emissão de Poluentes

Atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações militares. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos.

Em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto.

Durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como:

- Redução das emissões de gases poluentes oriundos da queima do óleo diesel;
- Menor utilização de insumos que podem gerar resíduos poluidores; e
- Menor emissão de ruídos durante as viagens.

De acordo com a linha de pesquisa na Fig.18, apresenta claramente que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motores diesel), pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de combustível e, conseqüentemente, uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO² - Dióxido Carbônico, NO_x – Óxido de

Nitrogênio e SOx – Óxido de Enxofre) durante as operações. É interessante destacar que o modelo utilizado na pesquisa considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos com o navio parado durante as viagens.

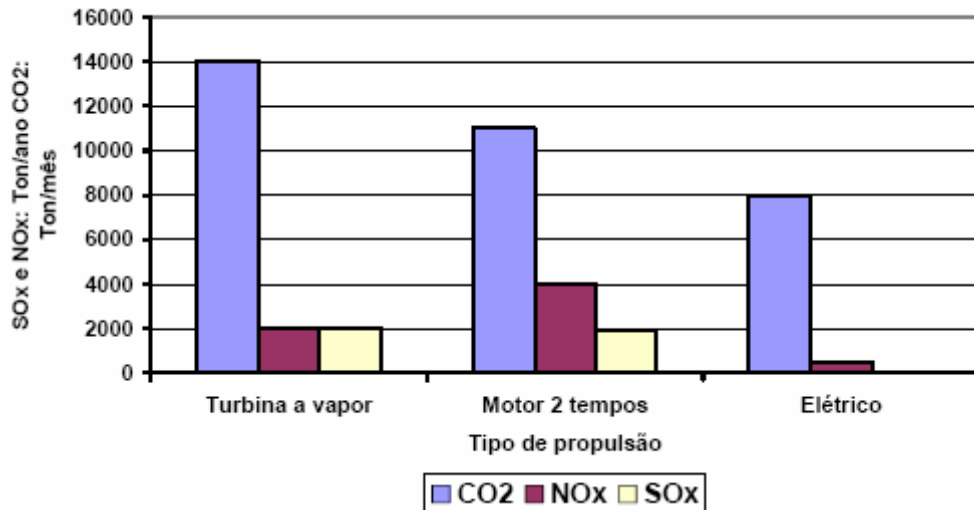


Fig. 18: Emissões de Gases na Atmosfera.

No futuro não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido à atitudes políticas de interesse mundial.

5.8 - Redução da Assinatura Acústica

Na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando, portanto desnecessária a utilização de engrenagens redutoras. A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos

níveis de ruído e vibração, garantindo desta forma uma significativa diminuição da assinatura acústica do meio, reduzindo conseqüentemente a possibilidade do navio ser detectado.

Além disto, os motores elétricos apresentam menor nível de ruído irradiado, devido às suas características construtivas e, portanto, não produzem tanta vibração e ruído quanto os equipamentos mecânicos.

E à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o conteúdo mostrado neste trabalho, podemos perceber a evolução do sistema de propulsão que eram limitados e com muitas deficiências ora supridas pelos sistemas atuais, que logo apresentaram inconvenientes ocasionando novas pesquisas para sistemas de propulsão mais modernos.

Os sistemas de propulsão elétrica atuais são bem estruturados e têm bons motivos para dominar o mercado, visto as diferentes vantagens citadas neste trabalho. É um sistema que pode optar por diversas fontes de geração de energia. Com as novas tecnologias que estão surgindo, a propulsão elétrica se tornará cada vez mais viável para os armadores. No entanto, a cada nova tecnologia a operação destas embarcações se tornará cada vez mais especializada, necessitando muito mais de conhecimentos elétrico-eletrônicos, dos profissionais que nela operam, que apenas mecânicos.

Percebemos com a busca incessante para um melhor resultado, que quanto mais pesquisamos, melhores resultados vão sendo alcançados e assim o surgimento de novas tecnologias e aprimorando nossos conhecimentos, transformando tudo que hoje é tecnologia de ponta em passado rapidamente, tendo assim os profissionais estarem sempre atualizados com cursos e especializações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – ABB, Automatização e Tecnologia Elétrica. Disponível em: <http://www.abb.com/> - Acesso em: 12/11/2011.
- 2 - BRASIL. Código Internacional de Gerenciamento de segurança (Código ISM). Organização Marítima Internacional (IMO). Londres. 1997. Tradução da Diretoria de de portos e costas da Marinha Brasileira. Rio de Janeiro. 2001. Incorpora diretriz para sua implementação. Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em: 13/10/2011.
- 3 - BRASIL. Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas atuais, incluindo as emendas de 1997. Diretoria de portos e costas da Marinha Brasileira. Rio de Janeiro. 2001. Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em: 12/11/2011.
- 4 - AQUINO, Paulo Eletrônica industrial Centro De Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. Julho de 2007.
- 5 – POMILIO, J. A. Eletrônica de Potência UNICAMP. São Paulo. 2001.
- 6 – Eden Gonzalez Ibrahim e Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva. Sistemas de Energia elétrica dos Navios Mercantes. Centro De Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. Março de 2003. 2ª edição.