

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

ALEX DA SILVA CARR JÚNIOR

PROPULSÃO ELÉTRICA DE NAVIO

RIO DE JANEIRO

2014

ALEX DA SILVA CARR JÚNIOR

PROPULSÃO ELÉTRICA DE NAVIO

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 (a): Professor Engenheiro Hermann Regazzi Gerck

RIO DE JANEIRO

2014

ALEX DA SILVA CARR JÚNIOR

PROPULSÃO ELÉTRICA DE NAVIO

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 Hermann Regazzi Gerck

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Aos meus pais Célia e Alex. As minhas irmãs Márcia e Vivian. À minha namorada Priscila. Ao meu Orientador. E a todos que me apoiaram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me ajudado a chegar até aqui. Aos meus pais e as minhas irmãs que foram fundamentais em minha vida e por todo apoio prestado durante a minha formação e durante a realização deste trabalho. E ao meu orientador Prof. Hermann pela paciente orientação desta monografia. Seu direcionamento de pesquisa, suas sugestões e apontamentos para o bom desenvolvimento deste trabalho.

“O que não nos mata só nos torna mais estranhos.”
(CORINGA – BATMAN: O CAVALEIRO DAS
TREVAS)

RESUMO

Este trabalho visa discutir a propulsão diesel elétrica de navios mercantes. Começa com uma breve abordagem sobre evolução da propulsão elétrica, que vem revolucionando não apenas a propulsão em si, mas também o sistema governo dos navios. Também serão abordados os tipos de propulsão elétrica, que podem ser: por corrente contínua (CC), corrente alternada (CA) com destaque no Sistema AZIPOD. A propulsão elétrica apresenta muitas vantagens tais como: menor consumo de combustível, flexibilidade de projeto, redução dos custos de manutenção e redução da emissão de poluentes e dos níveis de ruídos

Palavras-chave: Propulsão elétrica. Corrente contínua. Corrente alternada. AZIPOD. Economia de combustível. Flexibilidade de projeto. Redução de custos. Emissão de poluentes. Níveis de ruídos.

ABSTRACT

This work aims to discuss the diesel-electric propulsion for merchant ships. We will begin with a brief discussion of evolution of electrical propulsion, which has revolutionized not only the propulsion in itself, but also the system of government vessels. Also we'll talk about the types of electrical propulsion, which can be: by current continues (DC), alternating current (AC) and the AZIPOD System. The electric propulsion has many advantages, such as: lower fuel consumption, design flexibility, reduction of maintenance costs and reducing the emission of pollutants and noise levels.

Keywords: Electric propulsion. Direct current. Alternating current. ,AZIPOD; Fuel economy. Design flexibility. Reduction of costs. Emission of pollutants. Noise levels.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Sistema de Acionamento elétrico Integrado	13
Figura 2 -	Modelos de baterias utilizadas em submarinos	16
Figura 3 -	Rebocador de alto mar “triunfo” da Marinha do Brasil.	17
Figura 4 -	Motor CC	18
Figura 5 -	Janela de Inspeção do motor de propulsão do rebocador.	20
Figura 6-	Sistema Schottel	21
Figura 7 -	Diagrama de uma EAM movida por propulsão elétrica	24
Figura 8 -	Os Thrusters (a)	26
Figura 9 -	O inversor	27
Figura 10 -	Inversor de frequência produzido pela ABB	27
Figura 11 -	Pod do sistema AZIPOD, comparado ao tamanho de um homem	29
Figura 12 -	Sistema AZIPOD	31
Figura 13 -	Unidades do AZIPOD	32
Figura 14-	Sistema de governo	33
Figura 15-	Arranjo de propulsão AZIPOD dupla	36
Figura 16 -	Esquema de uma embarcação com CRP AZIPOD	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELETRICA	14
3	PROPULSÃO ELETRICA	15
3.1	Após a crise de 1970	16
4	PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA	17
4.1	Partes do motor de corrente contínua	18
4.2	Princípio de funcionamento do motor CC	19
4.3	Manutenção básica e desgaste do motor CC	19
4.4	Desempenho	20
5	PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA	21
5.1	Qualificação de um PDO	21
5.2	Motores de corrente alternada	22
5.3	Propulsão elétrica em corrente alternada	24
5.4	O inversor de frequência	26
5.4.1	Inversores de frequência vetoriais	28
5.5	Transformadores	28
6	AZIPOD	29
6.1	Sistema elétrico de AZIPOD	30
6.2	As unidades de AZIPOD	31
6.2.1	Sistema de transferência	32
6.2.2	Sistema de refrigeração	32
6.2.3	Sistema de governo	33
6.3.4	Sistema de selagem	34
6.3.5	Sistema de lubrificação	34
6.3.6	Sistema de drenagem	35
6.4	Possíveis arranjos das unidades AZIPOD	35
6.4.1	Arranjos simples e duplos	35
6.4.2	Propulsão CRP	36

6.5	Sistema de posicionamento dinâmico (DP)	37
6.6	Sistema de governo	38
7	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	39
7.1	Redução do consumo de combustível	39
7.2	Flexibilidade de projeto	39
7.3	Redução de custos de manutenção	40
7.4	Redução de emissão de poluentes	40
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

O sistema de propulsão de um navio é composto por elementos e tecnologias que serão utilizados para vencer a pressão da água e imprevisos atmosféricos, visando impulsionar a embarcação. A propulsão mecânica, por muito tempo, foi e ainda é mais utilizada. Esse tipo de propulsão consiste basicamente na interação entre o motor de combustão principal (MCP), linha de eixo e propulsor, representando o mais caro sistema instalado na praça de máquinas. O MCP aciona a linha de eixo, que transmite o torque e potência recebidos para o propulsor. O hélice fica acoplado à estrutura localizada na extremidade a ré da linha de eixo gerando impulso na água. Contudo, esse sistema apresenta muitas limitações.

A propulsão diesel-elétrica vem sendo desenvolvida com a esperança de suprir as deficiências encontradas na mecânica. Especialistas na área marítima acreditam que o futuro da propulsão é a propulsão elétrica. 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.

Figura 1 - Sistema de Acionamento elétrico Integrado

Fonte: FREIRE, P. R. M.; FERREIRA, C. L., 2004.

2 EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELETRICA

Os primeiros barcos que se aventuraram na conquista dos mares eram movidos à vela e surgiram no Egito, Grécia e Roma. Porém, com o ser humano desejando cada vez mais se afastar da costa, o primeiro sistema de propulsão híbrida da história foi implantado, navios movidos à vela e a remos surgiram suprimindo a deficiência das velas redondas, que não permitiam que as embarcações se movessem contra o vento. Essa limitação só teve fim com a invenção das velas latinas, permitindo um maior afastamento da costa e travessias maiores e iniciando a navegação marítima propriamente dita. Apesar de não haver gastos com combustível, as embarcações a vela apresentavam velocidades limitadas o que tornavam demoradas as viagens. No século XIX,

o advento do motor a vapor mudou o cenário marítimo. Inicialmente instalados em navios com velas, o motor a vapor permitiu às embarcações alcançarem velocidades maiores, mas ainda havia limitações quanto à carga útil dos navios, pois os motores exigiam grandes quantidades de carvão. O surgimento do hélice, o aumento e construção totalmente metálica dos navios, o surgimento da turbina a vapor e dos motores de múltiplas expansões confirmaram o vapor como meio de propulsão principal. Porém, com o aumento no preço do combustível, os armadores começaram a procurar uma máquina propulsora com maior rendimento e o motor a diesel surgiu como uma solução. Esses motores possuem um rendimento maior do que os motores a vapor. Os motores de combustão interna começaram consumindo diesel, o que os tornava caros, mas esse problema foi resolvido com o óleo pesado, um combustível de baixa qualidade e barato, o que reafirmou a propulsão mecânica no mercado até os dias de hoje. Apesar das vantagens dos motores a diesel, os espaços requeridos para suas instalações ainda são grandes, ou seja, perde-se espaço de carga para instalações de máquinas.

O espaço requerido e peso de uma instalação do sistema de propulsão mecânica são tão grandes que o navio é projetado em função do MCP. Visando a redução dos gastos com máquinas e aumento dos espaços criou-se a propulsão elétrica. Eliminando-se o MCP e todos os sistemas necessários para o seu funcionamento libera-se muito espaço no navio que pode ser utilizado para carga ou conforto da tripulação, além de reduzir a temperatura na praça de máquinas, reduzir o nível de ruídos no navio, reduzir a emissão de poluentes e aumentar a economia da embarcação.

3 PROPULSÃO ELÉTRICA

As primeiras utilizações da propulsão elétrica datam do final do século XIX, onde algumas embarcações pequenas construídas em países do norte da Europa eram movidas a baterias. Na Europa, os navios que operavam com essa propulsão contavam com turbo-geradores projetados para funcionarem em rotação constante. Se por um lado o sistema era usado apenas em embarcações que necessitassem de poucas variações de velocidades, por outro apresentava uma economia de 40% em relação aos navios convencionais da época, o que incentivou a extensão da aplicação desse tipo de sistema propulsor. A observação dos benefícios da aplicação da propulsão elétrica e a necessidade de aumentar a velocidade e diminuir o tempo

de travessia dos navios transatlânticos de passageiros motivaram a aplicação da propulsão elétrica em navios mercante. O mais conhecido foi o francês SS “Normandie”, lançado em 1932, o qual dispunha de quatro motores síncronos do tipo gaiola de esquilo acionados por dois turbo-geradores. Não podemos esquecer da contribuição do desenvolvimento dos submarinos para a evolução da propulsão elétrica. Esse sistema é utilizado até os dias de hoje em submarinos chamados convencionais, porém o desenvolvimento desta tecnologia ainda esbarra em um inconveniente característico da energia elétrica: a dificuldade de armazenamento de energia.

A bateria de acumuladores é o único meio de armazenagem de energia até a atualidade, uma tecnologia antiga, mas que vem melhorando a cada dia com melhores reações químicas e materiais modernos e resistentes. Tanto os primeiros submarinos quanto os atuais, chamados convencionais, não acionam os seus motores de combustão interna (MCI), quando mergulhados, uma vez que os motores requerem ar para queimarem, elemento em escassez no interior da embarcação quando estão submersos. Sendo assim, os submarinos convencionais operam os seus MCI para acionar geradores enquanto estão na superfície ou em pequenas profundidades utilizando equipamentos chamados “snorkel”, o qual obtém ar da superfície. Os geradores fornecem energia para acionar o motor elétrico de propulsão (MEP) e para carregar as baterias de acumuladores e são estas que vão alimentar todos os equipamentos do submarino enquanto mergulhado em profundidades onde o snorkel não pode operar. Alguns equipamentos do submarino precisam de corrente alternada (CA) e como o sistema de energia do submarino é de corrente contínua (CC), faz-se o uso de inversores de frequência para fornecer energia para estes equipamentos.

O uso de baterias como fonte de energia para gerar movimento é a solução mais satisfatória para o caso dos submarinos convencionais, porém sua aplicação em navios de superfície é inviável devido ao peso do grupo de acumuladores, o grande espaço ocupado, a liberação de gases explosivos (e a conseqüente necessidade de ventilação) e a manutenção que eles exigem. Seu uso a bordo de embarcações mercantes é limitado a poucas unidades e é restrito aos sistemas de partida e mais os similares aos “no-breaks” que atuam em caso de falha no sistema dos geradores a fim de manter equipamentos do GMDSS, automação, comunicações internas, iluminação transitória, etc.

Figura 2 - Modelos de baterias utilizadas em submarinos

Fonte: Monografia. Marcos Brito. Pag.: 12

O modelo central da figura 4 representa uma bateria de submarino mais moderno e os laterais modelos antigos de bateria. Na figura o tamanho da bateria pode ser estimado em relação à porta da sala de aula.

3.1 Após a crise de 1970

A crise do petróleo, ocorrida na década de 1970, forçou diversos países a buscarem a prospecção do petróleo no leito dos oceanos, ou seja, exploração do petróleo em alto mar. Como as plataformas de petróleo ficavam longe da costa, foi necessária a criação de um meio que promovesse o transporte de suprimentos, a troca da tripulação e qualquer outro tipo de auxílio que as elas necessitassem.

4 PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

No início do século XX surgiram as primeiras embarcações com propulsão elétrica em corrente contínua (CC), em rebocadores de alto mar que, em sua maioria, tinham a função de socorro e salvamento e se tornaram a base tecnológica para as atuais EAM.

A propulsão convencional possui uma série de desvantagens para as EAM. Em baixas rotações, os MCPs tendem a ter um consumo de combustível muito maior, além de o motor carbonizar mais rapidamente já que todo esse combustível não é queimado por completo. Em rotações muito baixas, equivalente a menos de 5 nós, o MCP simplesmente “morre”. A solução consiste em partir o MCP e pará-lo logo em seguida, manobra limitada pela capacidade de armazenamento das ampolas de ar para partidas sucessivas, o que pode variar de dez a quinze vezes. Após o consumo da carga das ampolas, muitas embarcações precisavam ficar “boiando” enquanto seus compressores as recarregavam.

Apesar de todas as desvantagens citadas no parágrafo anterior, a propulsão elétrica em CC foi adotada inicialmente como solução para embarcações que exigiam um alto grau de manobrabilidade e variação suave da velocidade, tanto na partida do motor quanto durante as manobras.

Figura 3 - Rebocador de alto mar “triumfo” da Marinha do Brasil.

Fonte: <http://naviosbrasileiros.com.br/ngb/T/T064/T064.htm>

Atualmente, a propulsão elétrica em CC encontra-se em escassez no setor marítimo, apesar de ainda existirem algumas embarcações que trabalham com propulsão e instalações em corrente contínua, devido às necessidades para manobras em águas restritas. A antiga planta de propulsão elétrica em corrente contínua, ainda usada, é integrada por quatro geradores elétricos da propulsão (GEPs) em 220 volts CC e mais quatro motores elétricos da propulsão (MEPs), sendo dois por eixo, inseridos no eixo propulsor entre o mancal de escora e o hélice.

4.1 Partes do motor de corrente contínua

Figura 4 – Motor CC

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| 1. mancal | 6. comutadores |
| 2. tampa | 7. imãs permanentes |
| 3. alimentação CC | 8. armadura (rotor) |
| 4. enrolamentos de armadura | 9. tampa |
| 5. escovas | |

O rotor (ou armadura) é a parte girante montada sobre o eixo da máquina e é constituído de material ferromagnético e envolvido por espiras chamadas enrolamentos de armadura (circuito induzido), os quais formam um eletroímã. Suas extremidades são conectadas ao comutador. O estator é a parte fixa montada em volta do rotor composta por imãs permanentes ou por eletroímãs (enrolamentos de campo ou circuito indutor) e que provém o fluxo magnético

que, junto à corrente na armadura, produzirá a força eletromagnética. O comutador (coletor) é o responsável por realizar a inversão do sentido da corrente que circula nos enrolamentos da armadura. É composto por um anel condutor seccionado por material isolante, cujo objetivo é descontinuar momentaneamente o circuito formado pelas bobinas a fim de garantir que o torque tenha sempre o mesmo sentido e impeça a armadura de ficar parada em uma posição de equilíbrio. As escovas são componentes de grafita montados sobre molas, que permitem seu deslizamento sobre os comutadores, ligando a fonte CC aos enrolamentos do rotor.

4.2 Princípio de funcionamento do motor CC

O princípio de funcionamento do motor de corrente contínua é baseado no fenômeno de indução de uma força eletromagnética devido ao movimento das espiras do rotor em uma região de campo magnético gerado pela corrente que circula no estator.

4.3 Manutenção básica e desgaste do motor CC

Na medida em que o atrito escova – coletor provoca o desgaste da escova, as centelhas começam a surgir, desde uma pequena centelha até várias grandes centelhas. O processo é cumulativo, aumentando exponencialmente as centelhas e, conseqüentemente, o calor produzido. Se esse calor for exagerado, ele pode destruir o material isolante entre as teclas e o eixo e avariar o coletor do motor. A menos que uma manutenção preventiva seja adotada, o momento certo para ser feita manutenção ainda é pouco evoluído. Quando o centelhamento observado no coletor é intenso está na hora de parar o MEP e proceder à manutenção nas escovas e coletor.

Figura 5 – Janela de Inspeção do motor de propulsão do rebocador.

O calor gerado pelos campos da máquina e pela comutação escovas-coletor precisava ser dissipado, normalmente como o auxílio de uma ventoinha. Isso impedia que o GEP e MEP pudessem ser enclausurados como os modernos motores de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo. A circulação forçada de ar fazia com que o pó oriundo da fricção das escovas com o coletor fosse lançado nos campos da máquina, tornando-a muito mais vulnerável a baixas resistências de isolamento nos seus campos.

4.4 Desempenho

Ajustes finos na rotação dos hélices podiam ser efetuados conforme a necessidade através de chaves manuais e reostatos. Reduzir a resistência de seus reostatos de campo possibilitava o aumento da corrente de excitação nos campos dos MEP. O tempo de resposta de um motor com escovas varia muito de acordo com o tamanho do motor. Um motor de 4.000KW leva aproximadamente sete segundos para parar, o que para os padrões da época não era ruim, mas atualmente é considerado lento. Apesar de todos os inconvenientes, a propulsão elétrica por corrente contínua foi tida como solução para embarcações de superfície que requeriam alta manobrabilidade. A capacidade de se obter uma partida suave foi fundamental em operações de reboque.

5 PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA

Desenvolvido na década de 70, o sistema Schottel, inicialmente acionado mecanicamente, introduziu o conceito de POD, que consiste no conjunto de motor e propulsor encontrado na parte externa do casco do navio. Sua capacidade de manobra ainda era ampliada pela movimentação do POD em azimute, ou seja, 360°, o que garante a eliminação do sistema de governo.

5.1 Qualificação de um DPO

Para se tornar um oficial DPO, é necessário um treinamento específico nesse ramo

Figura 6 - Sistema Schottel

O grande inconveniente dessa planta é a grande distância entre o motor principal e o propulsor a ré. Por isso, o sistema evoluiu para o acionamento por propulsão elétrica, onde são utilizados uma igual quantidade de geradores e de MCPs e os quadros elétricos dos propulsores são posicionados próximos aos PODs.

O Sistema Shottel era constituído basicamente de hélices propulsores montados em um conjunto com capacidade de ser movimentado no plano horizontal (em azimute). O hélice é acionado pelo MCP através de uma transmissão puramente mecânica e o sistema de governo movimenta, em azimute, o conjunto inteiro. O conjunto formado pelo propulsor e pelo sistema que o direciona em azimute é chamado de “POD” ou “RABETA” (esta por semelhança com os propulsores das embarcações de recreio).

A presença da transmissão mecânica do movimento do MCP ao hélice impede que o Sistema Shottel seja caracterizado como um sistema de propulsão elétrica, porém, o fato dele dispensar o uso de leme já significava um avanço. Para embarcações como tratores, com hélices propulsores na proa, o comprimento do eixo entre o POD e o MCP não gera problema. Já para EAMs com hélices na popa, o alinhamento de eixos mais longos pode ser um grande problema, já que o MCP está localizado avante com a finalidade de deixar a popa desobstruída para estivar a carga e para fainas de transbordo e de reboque.

Com o fim da crise do petróleo, no final da década de 70, ocorreu um aumento nas taxas do petróleo. Então, tornou-se muito conveniente para os países banhados pelos oceanos, o investimento na atividade de prospecção e extração de petróleo nos campos que pertencem às suas plataformas continentais. Houve então uma multiplicação das plataformas de petróleo nas áreas do Mar do Norte e em diversos locais. No Brasil, a Bacia de Campos é um exemplo de onde ocorre até hoje esta atividade.

5.2 Motores de Corrente Alternada

Os motores de corrente alternada podem ser divididos em monofásicos ou trifásicos, dependendo do tipo de alimentação que possuem, e em síncronos e assíncronos, relativo ao sincronismo entre a velocidade de rotação e a frequência da rede que o alimenta. A diferença

entre motores trifásicos e monofásicos é que no primeiro tipo o estator é formado por três enrolamentos independentes ligados em simetria com cada fase da rede elétrica, defasados em 120° entre si; no segundo, o estator possui um único enrolamento de fase. Por conta dessa fase única, ele não consegue formar seu campo girante sozinho e, por isso, precisa de um segundo campo com defasagem de 90° .

No motor síncrono, o estator é alimentado com corrente alternada, enquanto o rotor é alimentado com corrente contínua. Quando o campo magnético do rotor tenta se alinhar com o campo magnético girante do estator, o rotor adquire velocidade proporcional à frequência da alimentação do estator, sendo por este motivo denominado síncrono e tendo seu funcionamento em velocidade constante.

O motor síncrono funciona em velocidade constante e no caso de uma sobrecarga, para completamente. O motor assíncrono pode ser dos tipos gaiola de esquilo ou bobinado. O campo magnético variável no estator induz correntes nos condutores da gaiola do rotor. Estas correntes induzidas, por sua vez, criam um campo magnético no rotor que se opõe ao campo indutor do estator (Lei de Lenz). Como os pólos se mesmo nome se repelem, então há uma força no sentido de giro no rotor. O rotor gira com uma velocidade um pouco menor que a velocidade da corrente de campo (escorregamento), dando origem ao seu nome. O escorregamento é variável e depende da carga do motor: é mínimo, quando sem carga e máximo, quando com carga máxima.

As formas mais comuns de partida de um motor elétrico de corrente alternada são direta, estrela-triângulo e soft-starter, sendo os dois primeiros mais usados a bordo. A partida direta pode alcançar de quatro a doze vezes o valor da corrente nominal. A vantagem de utilizá-la é a sua simplicidade, pois consiste de uma ligação direta dos enrolamentos do estator do motor entre as fases. A alta corrente característica desse tipo de partida obriga o projetista do sistema elétrico a superdimensioná-lo de forma a garantir que não ocorram danos ao mesmo durante a partida. Muitas vezes o motor alcança altos valores de pico de corrente que acabam provocando quedas de tensão na rede.

Outro tipo de partida utilizado é o estrela-triângulo, quando se tratando de motores elétricos trifásicos. Consiste basicamente de partir o motor em estrela, ou seja, cada enrolamento receberá uma tensão mais baixa do que a tensão entre as fases, a tensão entre a fase e o neutro. Após a quebra da inércia do motor, uma chave é acionada, manual ou automaticamente, mudando de estrela para triângulo, onde agora cada enrolamento receberá a tensão plena entre as fases. Mesmo sendo uma partida mais suave, que proporciona menores

correntes de partida do que a direta, ainda é considerada uma mudança brusca de tensão. Por último se tem o “soft-starter”, também conhecido como partida eletrônica, que consiste em um conjunto de pontes retificadoras, utilizando tiristores ao invés de diodo comum. A partida é controlada eletronicamente de modo que a tensão aplicada seja gradativamente e suavemente variada até atingir a tensão de trabalho, conseguindo assim com que a corrente de partida seja próxima a corrente nominal.

5.3 Propulsão Elétrica em Corrente Alternada

Apesar dos motores de propulsão elétrica por corrente alternada (CA) só se popularizarem na década de 80, eles surgiram na indústria naval no final da década de 50. O aumento da demanda por potência provocou uma diminuição no uso de sistemas baseados em corrente contínua já que o peso e o tamanho dos MEP e dos GEP aumentavam expressivamente conforme sua potência subia.

Além dos fatores expressos acima, a menor manutenção requerida e o menor nível de vibrações gerado, fizeram com que esse tipo de propulsão preponderasse sobre a propulsão em corrente contínua, ganhando grande aceitação no meio marítimo.

Este tipo de propulsão consiste em quatro a seis motores de combustão principal que acionam um mesmo número de geradores de energia principais (GEPs). Os GEPs são diretamente conectados a um quadro elétrico principal (QEP) e desde esse quadro a energia é direcionada para os utilizadores do navio e para o quadro de manobra dos Motores Elétricos Principais (MEPs) assim, substituindo o eixo que interliga hélice e MCP, que são então interligados por meio de cabos elétricos incluindo o QEP e os MEPs. Os MEPs, dentro do casco do navio, ficam posicionados nas proximidades do propulsor o que reduz a extensão do eixo entre o acionador e o hélice, mas ainda tem uma seção de eixo na popa.

Figura 7 - Diagrama de uma EAM movida por propulsão elétrica

Na Convenção SOLAS, é mencionada a obrigação das embarcações com propulsão elétrica ter no barramento do QEP uma chave seccionadora (Tiebreaker), à qual pode ser encontrada como normalmente aberta (NO) ou normalmente fechada (NC).

Esta convenção é em relação à chave seletora, porém, não possui normas detalhadas sobre o sistema de automação da embarcação, embora seja corriqueira a automação do quadro elétrico principal supervisionar a situação da carga elétrica do navio. Desta forma, é habitual haver navios em que um gerador pode ser “posto em barra” por meio da automação, em caso de haver aumento na demanda de energia. Ou seja, a automação atua sobre o motor diesel do MCP, acionando-o e verificando a geração do gerador elétrico principal inclusive a excitação, fechando o disjuntor, distribuindo a carga, para, depois, liberar o aumento da velocidade do navio pela aceleração da rotação do motor elétrico principal.

É comum o uso de propulsão em CA em navios que façam muitas manobras, principalmente de atracar e desatracar, e cuja operação é irregular. Caso essas embarcações usassem motores diesel conectados diretamente ao hélice seus cilindros estariam sujeitos à carbonização por trabalhar em baixa carga constantemente, consumindo combustível em excesso e aumentando seu custo de manutenção. O uso de hélice de passo controlável (HPC) é comum junto a esses sistemas uma vez que seu emprego diminui a variação de carga no MEP. A reversão de passo facilita a manobra de inversão, pois adapta o passo do hélice sem parar o MEP e inverter a rotação do eixo. Sua aplicação ocasiona redução no consumo de energia elétrica (não demanda altas correntes como na partida e na reversão dos motores) e de óleo combustível, pois permite que os motores diesel trabalhem na faixa de máxima eficiência (maior torque e menor consumo).

Além dos recursos já expostos, podemos contar ainda com os thrusters, que são conjuntos de motor e hélice que permitem a propulsão transversal do navio e facilita as suas manobras. Eles são encontrados abaixo da linha d'água em um túnel que atravessa o casco do navio na proa (bow thruster) ou na popa (stern thruster) e criam impulso em qualquer direção. São usados em manobras de atracar/desatracar e dispensam o uso de rebocadores. A relação custo-benefício vai depender da redução das despesas obtida com o menor uso de rebocadores e da quantidade de manobras a serem realizadas pela referida embarcação.

Figura 8 – Os Thrusters (a)

Os MEPS, neste tipo de sistema, são motores de indução em corrente alternada caracterizados pela robustez, simplicidade e baixo custo. A velocidade é variada através de chaveamentos eletrônicos que isoladamente ou de modo combinado atenderão às necessidades do navio.

5.4 O Inversor de Frequência

Os avanços na eletrônica de potência permitiram o surgimento dos inversores de frequência. São equipamentos que permitem o controle da velocidade, através da variação da frequência, e torque, através da variação de tensão, dos motores elétricos.

Em paralelo aos avanços na eletrônica de potência, os avanços na área de microprocessadores e microcontroladores permitiram o uso de inversores de frequência comandados por computadores para controlar com precisão o comportamento dos motores de propulsão elétricos. A função básica do inversor de frequência é transformar a frequência da rede elétrica, que é constante, em uma frequência demandada pelo motor elétrico para que funcione a certa velocidade. Os inversores de frequência são divididos em duas seções básicas: a seção retificadora e a seção inversora. Na Seção retificadora a tensão alternada de entrada é transformada pelo retificador em contínua pulsada e um capacitor transforma a tensão contínua pulsada em contínua pura. Na seção inversora, a tensão retificada é novamente transformada em tensão alternada por meio de transistores IGBT. Estes transistores chaveiam várias vezes por ciclo, gerando um trem de pulsos com largura variável senoidal. Esta tensão de saída, aplicada a um motor elétrico, irá gerar uma forma de onda de corrente bem próxima da senoidal através do enrolamento do motor.

Figura 9 – O inversor

Figura 10 - Inversor de frequência produzido pela ABB

5.4.1 Inversores de Frequência Vetoriais

Para sanar os problemas dos inversores escalares, foram desenvolvidos os Inversores de Frequência Vetoriais. A sua grande inovação é que nele a curva V/f não é parametrizada pelo operador, mas sim pelo próprio equipamento que ajusta esta curva a cada milissegundo para otimizar o torque e, por consequência, o rendimento do motor elétrico de propulsão. Os inversores vetoriais utilizam correntes de magnetização e rotóricas do motor para configurar a curva V/f. Existem os inversores vetoriais chamados sensorless que não se utilizam de sensores de velocidade externos.

5.5 Transformadores

Transformadores são equipamentos que aumentam ou reduzem a tensão nos barramentos de um navio. Constituem-se basicamente de dois enrolamentos denominados primário e secundário e são interligados por meio de um núcleo de entreferro. Quando se submete o enrolamento primário a uma tensão, um campo magnético é produzido e conduzido pelo núcleo até o enrolamento secundário, este campo irá gerar no enrolamento secundário uma tensão proporcional ao número de espiras que este possui.

Em um sistema de propulsão elétrica integrada, os transformadores possuem papel crítico, uma vez que são eles que abaixam a tensão do barramento principal para os demais sistemas elétricos auxiliares de bordo. Em navios, apesar de a rede elétrica ser trifásica, os transformadores são monofásicos, isto permite que não se perca toda a rede elétrica em caso de avaria em algum dos transformadores.

6 AZIPOD

No início da década de 1990, surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o MEP ficava instalado dentro do POD e, portanto, dentro da água. Esse POD tem movimento azimutal. O sistema recebeu a denominação de Azipod. Um POD pré-fabricado inclui a estrutura e o motor que, no momento mais adequado da construção, é instalado e conectado ao sistema elétrico do navio e ao sistema de governo. Nas páginas a seguir trataremos de um assunto de extrema relevância para o pessoal da área de Máquinas e claro também para Náutica, porém vamos ver a questão da tecnologia do equipamento e não da sua relevância à manobrabilidade do barco. Primeiramente vamos definir o que é AZIPOD.

O sistema com PODs, ou Rabetas, tem acabado com a hegemonia do Sistema IFEP (Integrated Full Electric Propulsion), em que os motores elétricos não estão ligados diretamente aos hélices. Já no sistema com PODs, cada POD é independente o que resulta em uma considerável economia de combustível. O sistema AZIPOD® (Azimuthing Podded Drive) é um sistema de propulsão desenvolvido pelo Grupo ABB na década de 1990. Tal sistema consiste na utilização de um MEP instalado diretamente em um POD, logo, esse conjunto fica mergulhado na água. Cada unidade azipod possui um grau de liberdade horizontal, onde um movimento azimutal proporciona um giro de quase 360 graus em torno do seu eixo vertical. O motor pré-fabricado é instalado em um POD, o qual será conectado aos sistemas elétricos e de governo da embarcação, dispensando a existência de vários mecanismos de transmissão e da máquina do leme.

Figura 11 - Pod do sistema AZIPOD®, comparado ao tamanho de um homem

Fonte: <http://www.hightechfinland.com/direct.aspx?area=htf&prm1=889&prm2=article>

Cada azipod é alimentado por corrente alternada, que então é retificada para corrente contínua e logo depois é enviada a um inversor, onde se torna alternada novamente utilizando o sistema PWM como na propulsão por corrente alternada que também utiliza motor de indução. Pelo fato desse motor estar mergulhado na água e com difícil acesso, esse sistema funciona continuamente com o auxílio de sensores de baixa resistência de isolamento.

6.1 Sistema Elétrico de um AZIPOD

No sistema de propulsão AZIPOD® de uma embarcação são empregados normalmente quatro grupos geradores acoplados ao quadro elétrico principal, que distribui a energia aos transformadores, a outros utilizadores e ao sistema de propulsão.

A propulsão AZIPOD® é um sistema de alta potência, podendo atingir cerca de 30 megawatts (MW), o que proporciona uma excelente capacidade de manobra e com um ótimo torque, em qualquer direção, permitindo giros em torno de seu eixo e uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice. Outra vantagem desse tipo de propulsão reside no fato de que manobras de manutenção podem ser planejadas, com a possibilidade de se parar um gerador durante a execução desses serviços, sem a necessidade de interromper a operação da embarcação

Os motores da propulsão AZIPOD®, que podem ser síncronos ou assíncronos, são instalados no POD e acionam diretamente um hélice propulsor de passo fixo no prolongamento do eixo. Os hélices são montados com passo fixo, pois o controle do torque e da rotação é feito através do inversor de frequência PWM. A instalação mais comum do sistema AZIPOD® compreende hélices com pás monobloco, para puxar com mais eficiência. Esses hélices são forjados em bronze para embarcações comuns e em aço inox para embarcações quebra-gelo.

Os hélices são projetados especificamente para cada embarcação para que se tenha maior eficiência durante as operações de cada embarcação, o que é feito pela ABB em conjunto com os projetistas dos estaleiros construtores. Desta mesma forma são efetuados os cálculos referentes aos esforços resultantes das forças desenvolvidas pelo hélice.

Figura 12 - Sistema AZIPOD

Fonte: http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2013/Gustavo_Gastao/relat2/Relat2.htm

6.2 As Unidades do AZIPOD

Como exemplo, pode-se citar o navio de cruzeiro Costa Concordia que não possuía um sistema de redundância para geração de eletricidade tal como existe no navio Queen Mary 2. No naufrágio do Costa Concordia foi inundado o compartimento que continha os geradores de todos os sistemas do navio, então, a água ao entrar gerou uma pane elétrica que deixou o navio sem energia, impossibilitando o seu governo e que as portas estanques fossem automaticamente fechadas. Tal fato poderia ser evitado se o Costa Concordia tivesse um sistema de redundância em um compartimento diferente dos outros gerados.

Cada Azipod® conta com um conjunto de unidades auxiliares que garantem seu funcionamento. Entre elas, podemos citar:

- a) Unidade de Transferência (Slip Ring Unit – SRU)
- b) Unidade de Governo (Steering Unit – STU)
- c) Unidade de Resfriamento do Ar (Cooling Air Unit – CAU)
- d) Unidade de Energia Hidráulica (Hydraulic Power Unit – HPU)
- e) Unidade de Tratamento de Óleo (Oil Treatment Unit – OTU)
- f) Unidade Central de Informação (Azipod® Interface Unit – AIU)

Figura 13 - Unidades do Azipod

6.2.1 Sistema de transferência

O sistema de transferência (SRU) contém anéis de deslizamento, que fornecem a energia do navio para o MEP do Azipod®, e um indicador de ângulo de governo com indicação mecânica e eletrônica. Um dos anéis é responsável pela transmissão de dados de controle para a automação.

6.2.2 Sistema de refrigeração

O sistema de resfriamento consiste na circulação fechada de ar entre o motor elétrico e o Cooling Air Unit (CAU). Esta possui filtros, trocadores de calor entre o ar e a água de resfriamento da embarcação e ventiladores (forçam o ar novamente para o MEP). Os trocadores de calor trabalham com água à pressão de seis bar; a rede possui detectores de umidade e diversos sensores de pressão e temperatura, principalmente para verificar as condições de entrada e saída de ar do motor. O ar deve entrar com temperatura de 45°C e sair com 70°C, além de a água entrar com 36°C.

6.2.3 Sistema de governo

O governo da embarcação é provido pelo Azipod® e conta basicamente com o Steering Module e com o Hydraulic Power Unit (HPU). Por ser um sistema de governo deve respeitar as regras da Convenção SOLAS, em especial no que diz a operações em emergência e à redundância.

Cada Azipod® possui dois sistemas HPU; cada um dispõe de duas bombas hidráulicas, uma acionada pelo QEP e outra pelo QEE, e de uma bomba de recirculação (flushing pump), que recircula o óleo do tanque das bombas para os motores hidráulicos para manter a temperatura equilibrada. Durante a operação da embarcação, um dos sistemas HPU entra em funcionamento (e nele, apenas uma bomba é acionada). A capacidade de giro do navio é de 2,5° por segundo com apenas uma bomba ligada e de 5°, com duas em paralelo, podendo alcançar até 7,5° com uma redução no torque para 2/3 do seu valor máximo.

Figura 14 - Sistema de Governo

6.3.4 Sistema de selagem

O sistema de selagem é constituído de duas partes: a do eixo de giro azimutal e a dos mancais de escora e do propulsor. O primeiro é composto por quatro anéis, onde os dois superiores são responsáveis por vedar o óleo lubrificante e os inferiores, a água salgada. O selo inferior é conhecido como anel sujo e permite o vazamento de uma pequena quantidade de água. Esse pequeno vazamento de ambos os líquidos é normal e é importante para o processo, pois são necessários para lubrificar as superfícies dos anéis. A quantidade de fluido que vazará depende da velocidade do movimento e das variações de carga a que o sistema é submetido.

Os anéis de vedação dos mancais de escora e de sustentação têm como objetivo principal impedir o vazamento de óleo lubrificante para o mar. Além disso, é função deles equilibrar a pressão do óleo com a da água de acordo com a profundidade que o Azipod® se encontra, o que depende, por exemplo, das cargas do navio. A automação, também conhecida como Machinery Automation System (MAS), fica com a incumbência de fazer esse ajuste de pressão.

6.3.5 Sistema de Lubrificação

O sistema de lubrificação propicia o perfeito funcionamento dos mancais do eixo azimutal e os de escora e sustentação do propulsor. O mancal do eixo azimutal é do tipo fechado com um alojamento cheio de óleo e conta com um selo deslizante que evita vazamentos para o mar. Acima do alojamento, pode ser encontrado uma tampa com ventilação, um tubo de enchimento e uma vareta para controle de nível de óleo.

Os mancais do propulsor, tanto o de escora quanto o de sustentação (localizado na ponta do motor elétrico perto do hélice), têm lubrificação por salpico com alojamento parcialmente cheio de óleo. A saída de óleo dos mancais é ligada a uma bomba que, por meio da tubulação que passa pela junta deslizante, envia o óleo para a Unidade de Tratamento de Óleo (OTU) para ser filtrado e resfriado, depois retornando aos mancais.

A energia que alimenta a bomba de lubrificação é enviada ao POD por meio de um anel deslizante na junta. Todo o procedimento é controlado pela automação.

6.3.6 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem é uma proteção do Azipod® contra vazamentos de óleo e a água para o interior do POD. Ele é composto de duas bombas, encontradas na parte mais baixa da Unidade Azipod®, rede de descarga com válvulas de retenção (só permitem fluxo em um sentido, evitando o retorno do fluido) e sensores de nível. Estas chaves de nível acionam a automação quando necessário e o fluido excedente passa pela rede, que atravessa a junta deslizante (transfere energia elétrica para o POD), passa pela sala Azipod® e é levado ao esgoto do navio. Essas bombas são alimentadas com energia do QEE.

6.4 Possíveis Arranjos das Unidades AZIPOD

As unidades AZIPOD® normalmente são instaladas em arranjos simples, duplos e triplos, atendendo às necessidades básicas de praticamente qualquer embarcação, que também podem ter soluções especializadas, como é o caso da solução CRP AZIPOD®, desenvolvida especialmente para embarcações RoRo, ferries e de carga.

6.4.1 Arranjos simples e duplos

O arranjo simples é mais empregado em navios de carga e navios tanque, ele consiste na instalação de apenas um casco instalado no casco do navio. O arranjo duplo é usado em navios de cruzeiro e ferries, muito recomendado nos casos onde é necessária boa capacidade de manobra e alta redundância. A ABB criou também uma tecnologia denominada ‘‘X-tail’’.

Trata-se de uma melhoria no arranjo duplo, que faz com que a água passe pelo propulsor num ângulo menos agudo do que no arranjo sem esta tecnologia. Seu design faz com que o fluxo de água seja redirecionado de maneira mais eficiente e o alinha, diminuindo o efeito espiral da água.

Figura 15 - Arranjo de Propulsão AZIPOD Dupla

Fonte: <http://gcaptain.com/abbs-azipods-video/>

6.4.2 Propulsão CRP

Ela é uma solução competitiva para os porta-containeres de alta velocidade e ferries. Nessa nova propulsão existe uma linha de eixo convencional e, por ante a ré dela, o AZIPOD® atua como um leme e um hélice de “contra-rotação”. Isso permite uma maior capacidade de manobra e redundância, quando comparado com embarcações que empregam as antigas linhas de eixo rígidas, além de eliminar uma das linhas de eixo.

CRP é uma abreviação do inglês ‘Contra Rotating Propellers’ e devido ao fato dos eixos dos propulsores serem concêntricos, do número de pás serem diferentes e de a rotação do propulsor AZIPOD® ser maior do que a do propulsor maior, faz com que os propulsores sofram muito menos cavitação e evita a ressonância entre eles.

Os sistemas de propulsão por AZIPOD® podem ser utilizados em diversos tipos de embarcações. Este tipo de propulsão é ideal para embarcações que necessitem de uma boa manobrabilidade e bastante potência para o propulsor, aliada a espaço como para as embarcações de cruzeiro, contêineiros, plataformas de alto mar, quebra-gelos e diversos tipos de ferry-boats rápidos.

Figura 16 - Esquema de uma embarcação com CRP AZIPOD

6.5 Sistemas de Posicionamento Dinamico (DP)

Posicionamento dinâmico é o procedimento que automaticamente mantém o aproamento e/ou a posição da embarcação com o uso de propulsores, permitindo a operação no

mar (manter a posição fixa ou fazer manobras precisas) onde o fundeio não é viável devido à profundidade. O sistema conta com equipamentos diversos como instrumentos de referência, de propulsão, de geração de energia e de controle e automação, como pode ser observado na figura abaixo.

Ao contrário das embarcações comuns, onde a propulsão deve atingir determinada velocidade de cruzeiro, o objetivo no posicionamento dinâmico é o *stationkeeping*, isto é, manter a embarcação em uma posição fixa, com pouca tolerância a variações, e controlar seus movimentos horizontais nas operações.

Uma embarcação no mar sofre influência de várias forças e, entre elas, as principais são as de ventos, ondas e corrente. A mudança de posição que a embarcação sofre como resultado dessas forças é medida por sistemas de referência de posição, agulha giroscópica, sensores de vento, etc. O sistema calcula o desvio entre a posição medida e a requerida e, a partir da diferença, define as forças que os thrusters devem realizar para que ela seja eliminada. O sistema DP permite o controle de três graus de movimento: avanço e recuo, caimento e cabeceio. Entre os movimentos a serem restringidos, o primeiro a ser observado é o cabeceio, em que a preocupação é manter o aproamento do navio. O princípio do sistema é não produzir momento em relação ao centro de gravidade do navio e, com isso em mente, deve-se atentar para a quantidade e as posições dos thrusters na embarcação. Considerando a eliminação do momento linear, devem ser empregados, no mínimo, um avante e outro a ré, já que um sozinho não conseguiria eliminar a ação de forças externas atuantes no navio todo. Ao considerar a força a ser fornecida por eles, devem ser colocados equidistantes a fim de produzir o menor esforço possível. Além desses fatores, a norma acerca da redundância também deve ser cumprida, exigindo mais dois thrusters nos mesmos moldes já citados anteriormente.

6.6 Sistema de Governo

O sistema AZIPOD® está de acordo com as regras da Convenção SOLAS, que exige condições de manobrabilidade tanto em condições normais quanto em condições de emergência, trazendo grande redundância no sistema, não deixando que a embarcação perca o governo.

A rotação horizontal do sistema AZIPOD® é acionada por uma máquina hidráulica, constituída de dois motores hidráulicos. O arranjo básico é compreendido de uma unidade hidráulica (Hydraulic Power Unit – HPU) por AZIPOD®, a qual fornece a pressão necessária

para que os motores hidráulicos atuem. Os motores hidráulicos fazem girar em azimute as engrenagens de acionamento do POD através de pinhões no seu eixo.

Um motor hidráulico é alimentado pelo QEP durante operação normal do navio, e é responsável por rotacionar horizontalmente o azipod, enquanto o outro motor permanece em stand-by, para ser utilizado em caso de emergência. Em caso de queda de energia, o QEE passa a ser responsável pelo governo do azipod, obedecendo assim a Convenção SOLAS.

7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Em navios com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é quem 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 .

7.1 Redução do consumo de combustível

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. Estimou-se a eficiência energética em operações aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica de acordo com Newell (2000, p.67-85). Nota-se que essa diferença de eficiência é maior em baixas e media cargas, situação propicia para as embarcações de apoio marítimo já que é o caso em que fica a maior parte do tempo, como veremos a seguir:

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.

7.2 Flexibilidade de 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.

Observa-se 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.

7.3 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.

7.4 Redução da Emissão de Poluentes

A visão de não poluição do meio ambiente por navios é cada dia mais difundida entre a comunidade marítima. Um dos anexos da MARPOL trata da poluição do ar por navios e, assim como todos os outros anexos, está se tornando mais rigorosa e cobrada com o passar do tempo. Os gases provenientes da queima de combustível fóssil são os principais responsáveis pelo efeito estufa. Sendo assim, a redução da quantidade de combustível queimada pelos motores de bordo é sempre bem-vinda, tanto no aspecto financeiro quanto no ambiental. A supressão de um MCP torna a propulsão elétrica atrativa também no aspecto ambiental, pois reduz a emissão de poluentes oriundas da queima de combustível fóssil e utiliza menos insumos que podem gerar resíduos poluidores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aborda os principais aspectos da propulsão elétrica, indo desde o seu início, passando pela evolução da propulsão elétrica e finalizando com o sistema elétrico utilizado na atualidade, que são o POD's. Foi visto também as vantagens que este tipo de propulsão proporciona e que essas unidades superam em muito os outros tipos de propulsão. Foi destacado a importância de um sistema de redundância que possibilite, em casos de avaria, não perder por completo as funções do navio. O sistema AZIPOD® é uma revolução nos meios de propulsão, além de garantir melhor rendimento, aumenta a manobrabilidade e o governo do navio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sistema de Acionamento elétrico Integrado. Disponível em: <FREIRE, P. R. M.; FERREIRA, C. L., 2004.> Acesso em: 20 jun. 2014.

IBRAHIM, Eden Gonzalez. **Propulsão elétrica de embarcações.** Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios.** 2007. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação De Engenharia Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUSA, Waldecy dos Santos. **Posicionamento Dinâmico** (Parte 3). Julho, 2012. Disponível em: <<http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012/07/posicionamento-dinamico-parte-3.html>> Acessado em: 13 jul 2013.

MASCHERONI, José M., LICHTBLAU, Marcos, GERARDI, Denise. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência.** WEG Automação. Santa Catarina.

GOMES, Alexandre de Oliveira; GALINDO, Gabriel de Andrade. **Máquinas e sistemas de propulsão.** 1.ed., Rio de Janeiro: DPC, 2008.

HARRINGTON, R. L. **Reliability and maintainability analyses of shipboard systems.** In: Marine Technology. Society of Naval Architects and Marine Engineers

MCCOY, T. J. **Trends in ship electric propulsion power engineering society summer meeting.** vol. 1, p. 343-346, IEEE, 2002.

PÊGO, J. et al. **Construction of a test facility for further research of ship propulsion systems.** Emirates Journal for Engineering Research, 10 (2), 1-8 2005.

PEREIRA, N. N.; BRINATI H. L. **Estudo do impacto da propulsão a diesel-elétrica na emissão de gases poluentes.** 22º Congresso Nacional de Transportes

Marítimos, Construção Naval e Offshore - EXPONAVAL 2006, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval - SOBENA.