



MARINHA DO BRASIL

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA

CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE



Marcos Vinícius Brito do Couto



RIO DE JANEIRO

2013

Marcos Vinícius Brito do Couto

Sistemas de Propulsão Elétrica em Navios Mercantes

Monografia apresentada 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): _____

Rio de Janeiro

2013

Marcos Vinícius Brito do Couto

SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA EM NAVIOS MERCANTES

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do curso de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador(a): _____

CMG-Ref

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, ao Comandante Ibrahim, pela sua paciência comigo e a minha namorada, pela compreensão nos momentos difíceis que passei durante a confecção desta monografia.

Há quedas que provocam ascensões maiores.

(WILLIAM SHAKESPEARE)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Paulo Sérgio, a quem devo
cada passo que pude dar em minha vida.

RESUMO

Este trabalho oferece ao leitor uma perspectiva histórica da evolução dos sistemas elétricos de propulsão marítima desde a sua origem, com o surgimento dos submarinos, passando pela propulsão em corrente contínua, depois em corrente alternada até atualidade, e torna claro que, mediante as exigências cada vez mais rigorosas da indústria naval por uma tecnologia que tornasse o transporte e operações marítimas mais viáveis e eficientes, todos os caminhos levaram ao uso da propulsão elétrica para atender a essas necessidades.

Esse tipo de propulsão também tem se mostrado capaz de promover uma interação menos prejudicial das embarcações com o meio ambiente, especialmente a tecnologia AZIPOD®, que revolucionou a indústria offshore por favorecer as operações das plataformas de petróleo com o seu excelente grau de manobrabilidade.

Além de favorecer a indústria, o sistema de propulsão AZIPOD® também está de acordo com a Convenção SOLAS, preenchendo todos os requisitos necessários dessa convenção para salvaguardar as vidas a bordo das embarcações dotadas desse sistema.

Palavras-chave: propulsão, propulsão elétrica, propulsão elétrica por corrente contínua, propulsão elétrica por corrente alternada e tecnologia Azipod.

Abstract

This study offers the reader a historical perspective of the marine electric propulsion systems evolution since its origin, with its appearance in the submarines, passing by the direct current propulsion, then by the alternate current until nowadays, and makes clear that, by means of the growing requirements of the maritime industry for a technology that could make both maritime transportation and operations more feasible and efficient, all the possibilities lead to the use of the electric propulsion to attend to these necessities.

This kind of propulsion has also proved itself capable of promoting a harmless interaction between vessels and the environment, specially the AZIPOD® technology, which revolutionized the offshore industry by favoring petroleum platforms with its excellent maneuverability.

Besides favoring the industry, the AZIPOD® propulsion system is also in accordance with the SOLAS Convention, fulfilling all its necessary requirements to safeguard the lives on board on the vessels endowed with this system.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 A EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELÉTRICA	11
1.1 Primeira aplicação mundial da propulsão elétrica.....	14
1.2 Pós-crise do petróleo.....	15
2 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA	17
2.1 Motor elétrico de Propulsão por Corrente Contínua.....	18
2.1.1 Desgaste e manutenção básica.....	19
2.1.2 Desempenho.....	21
3 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA – MEP NO NAVIO	22
3.1 Sistema Shottel.....	22
3.2 Propulsão elétrica em corrente alternada.....	23
3.3 Propulsão elétrica com retificador e inversor.....	25
3.3.1 Sistema retificador-inversor.....	25
4 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA – MEP NO POD	27
4.1 Introdução à propulsão AZIPOD®.....	27
4.2 Sistema elétrico de um AZIPOD®.....	28
4.3 Comparação entre do Consumo de Combustível de um Sistema com um Sistema Convencional de Propulsão.....	29
4.4 Possíveis Arranjos das Unidades AZIPOD®.....	31
4.4.1 Arranjos simples e duplo.....	31
4.4.2 Propulsão CRP.....	32
4.5 Sistema de governo.....	33

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

INTRODUÇÃO

É incontestável a necessidade do transporte marítimo para a economia mundial, assim como a aplicação da tecnologia neste setor é imprescindível para que haja uma melhor utilização dos recursos econômicos disponíveis.

Com a crescente evolução dos métodos de exploração do petróleo também vieram grandes investimentos na criação de sistemas de propulsão marítimos que tornassem essas operações cada vez mais viáveis e eficientes, tendo como foco menores custos de energia e manutenção, maior manobrabilidade e potência desenvolvida. O fator ambiental também tem se tornado, cada vez mais, preponderante para o desenvolvimento desses sistemas, tendo em vista que existe uma preocupação mundial com a poluição dos mares e com emissão de poluentes na atmosfera.

Com base em todas essas exigências, o sistema de propulsão elétrica aparece como uma solução para uma melhor aplicação dos recursos naturais e econômicos, superando, na maior parte de suas aplicações no setor naval, a transmissão mecânica em todos os quesitos apresentados no parágrafo anterior.

Capítulo 1

A EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

A origem da propulsão elétrica se deu nos submarinos, onde houve a necessidade da criação desse sistema de propulsão, no final do século XIX, a partir da necessidade militar, através deste fato ocorreu então o nascimento do submarino. 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 que difere dos navios mercantes, que transportam em seu bojo a carga, os submarinos transportam as baterias dos acumuladores. As grandes quantidades de baterias encontradas nos submarinos, não são encontradas nos navios mercantes. Nestas embarcações há poucas baterias instaladas em locais altos e ventilados para melhor administração dos gases explosivos gerados pelo processo de carga. A razão de não haver muitas baterias em embarcações mercantes é que estas perderiam muito espaço reservados para carga e em consequência do excesso de peso, haveria dificuldade para obter uma boa estabilidade.

Apesar de a propulsão elétrica ser, hoje, única e insubstituível para os submarinos, ela apresenta algumas restrições como gases gerados durante a carga das baterias. A quantidade de baterias instaladas atualmente nos submarinos teve uma significativa redução, de 500 baterias para 440.

FIGURA 1 – Arranjo dos elementos na praça de baterias de um submarino

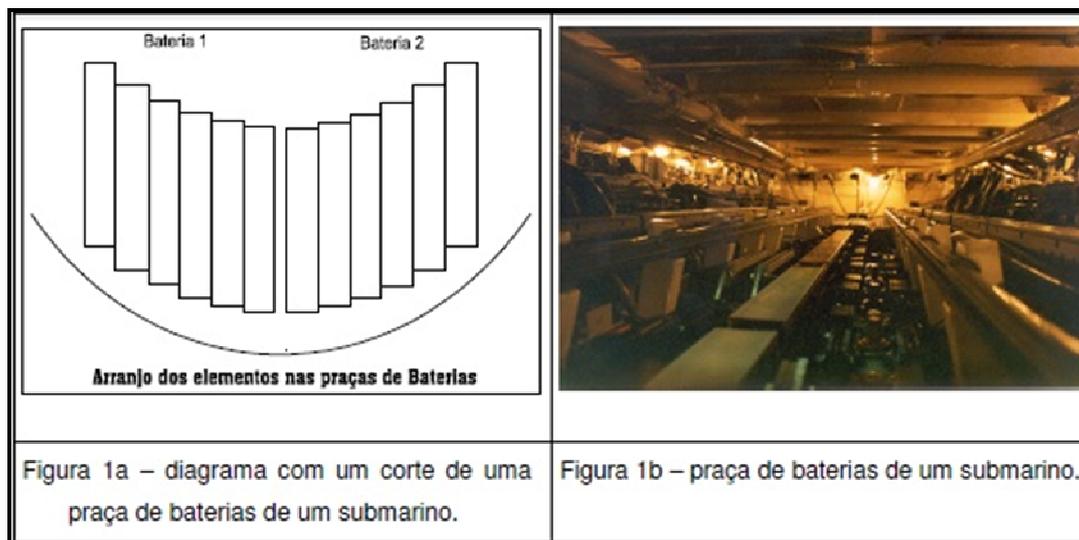


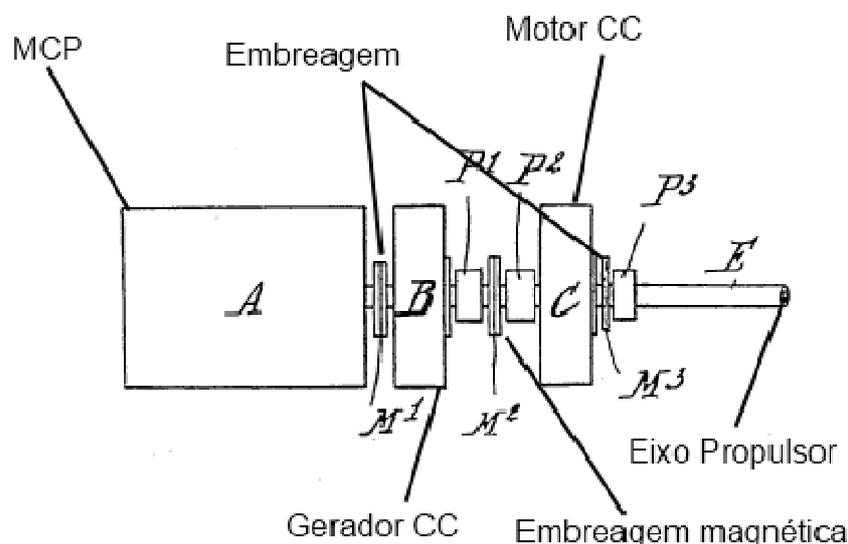
FIGURA2 – Modelos de baterias utilizadas em submarinos



No início do século XX os MCI já eram meios de propulsão comuns e confiáveis em navios, porém, estes motores apresentavam o empecilho de não serem reversíveis. Eis que surge a propulsão elétrica para solucionar este problema.

Em 1903, o engenheiro eletricitista italiano Cesido Del Proposto inventou e desenvolveu este tipo de propulsão, ao mesmo tempo em que um trabalho semelhante era desenvolvido no Ludwig Nobel, em São Petersburgo, Rússia. O projeto de Del Proposto consistia basicamente, além do eixo e do propulsor, de um gerador de corrente contínua acionado por um motor diesel e de outro motor, também de corrente contínua, acoplado ao eixo propulsor.

FIGURA 3 – Esquema do sistema desenvolvido por Del Proposto.



Enquanto o navio não estivesse em manobra ou em máquinas a ré, o eixo propulsor permanecia conectado ao MCP através da embreagem magnética M2, sendo esta acionada pela corrente proveniente do gerador CC, como pode ser visto na figura 3. Nesta situação o gerador e o motor elétrico atuavam como volantes para o MCP.

Para que a rotação do MCP fosse invertida era necessário parar o motor, desacoplar a engrenagem M2 mudar as conexões elétricas. Nesse caso o acionamento do propulsor era efetuado apenas pelo motor elétrico.

Assim, o obstáculo de se reverter a rotação dos motores propulsores foi transposto, apenas usando os MCI para acionarem geradores e usando a energia destes para acionarem motores elétricos.

1.1-PRIMEIRA APLICAÇÃO MUNDIAL DA PROPULSÃO ELÉTRICA

A primeira embarcação movida a propulsão elétrica foi o navio russo Vandal, tanqueneiro de 75m e 800tdw, operado pela companhia de extração de petróleo Nobel

Petroleum Company, baseada em São Petersburgo e com operações no rio Volga e no mar Cáspio. Sua viagem inicial foi dada na primavera de 1903, logo após o gelo do inverno ser quebrado.

O navio possuía três propulsores acionados por três unidades de propulsão elétrica montadas a meia nau. Cada unidade consistia de um motor diesel de três cilindros e de um gerador de corrente contínua de 87 KW\ 500V. Esses geradores ficavam conectados eletricamente aos motores elétricos, cada um consumindo 75 KW para girar seus eixos propulsores. Cada unidade propulsora podia ser controlada separadamente a partir do passadiço, o que garantia ao navio mobilidade até então não observada. Os equipamentos elétricos e controle foram projetados e construídos pela empresa Suécia ASEA, adaptando os controles utilizados nos carros elétricos da época até onde se sabe.

A potência total gerada pelos motores do navio-tanque Vandal era de 360 HP, mas o que chegava aos propulsores era algo próximo de 290 HP, representando uma perda de 20 por cento. Apesar disso, o navio atendeu de forma excelente às expectativas. Com esta tecnologia a manobra de reversão de full ahead para full reverse levava apenas de 8 a 10 segundos.

FIGURA 4 – Tabela dos primeiros navios a diesel e seus sistemas de propulsão.

Embarcação <i>Uso</i>	Viagem inicial <i>País</i>	Motor utilizado	Fabricante <i>País</i>	Tipo de propulsão
Vandal <i>navio tanque</i>	primavera de 1903 <i>Rússia</i>	3x120 HP / 255 rpm	A.B. Diesel Motorer <i>Suécia</i>	Diesel-elétrica
Ssarmat <i>navio tanque</i>	verão de 1904 <i>Rússia</i>	2x180 HP / 240 rpm	Ludwing Nobel <i>Rússia</i>	Nobel / Del Proposto
Aigrette <i>submarino</i>	1904 <i>França</i>	~ 200 HP	Sautter-Harlé <i>França</i>	Transmissão elétrica
Venoge <i>cargueiro</i>	1905 <i>Reino Unido</i>	40 HP / 260 rpm	Gebr. Sulzer <i>Suíça</i>	Del Proposto

Em 1918, o navio carvoeiro USS “Jupiter” da Marinha Americana, teve um sistema de propulsão que consistia em de um turbo gerador de corrente alternada capaz de alimentar dois motores de indução com rotor bobinado, produzindo assim uma potencia de 4.1 MW de potência por eixo. A instalação desse sistema foi feito em caráter experimental e fez tanto sucesso que a embarcação foi logo transformada no primeiro navio aeródromo da Marinha Americana, em 1922, sendo então chamado de USS “Langley” e continuou em plena operação até 1942 quando foi afundado em combate.

O experimento no USS “Langley” foi um grande sucesso e isso incentivou a construção de mais de duzentos navios com propulsão elétrica pela Marinha Americana até o término da Segunda Guerra Mundial. A falta de capacitação técnica para a produção em larga escala de engrenagens necessárias para a produção de embarcações com transmissão mecânica também serviu de estímulo para que esse tipo de propulsão fosse mais explorado durante o referido período. Porém, por volta dos anos 1940, a evolução da tecnologia dos sistemas de engrenagens utilizadas no setor naval passou a apresentar preços mais competitivos, fator que, somado a desvantagem de os sistemas elétricos da época apresentarem menor densidade energética, fez com que os investimentos nesse tipo de propulsão fossem suprimidos.

FIGURA 5 – USS “Langley”



1.2 – Pós–crise do petróleo

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.

FIGURA 6 - Plataforma auto-elevatória Petrobrás III, localizada na Bahia.



Foram então criadas as Embarcações do Apoio Marítimo (EAM), capazes de promover operações de fundeio, reboque e o abastecimento das plataformas, as EAM operam em missões específicas, todas diretamente relacionadas ao apoio às plataformas de petróleo.

Essas embarcações trouxeram consigo novas tecnologias com o intuito de promover um melhor desempenho durante suas operações próximas das plataformas, essas tecnologias serão devidamente apresentadas nos próximos capítulos.

Ao longo das décadas de 1980 e 1990, muitos armadores optaram por substituir a convencional transmissão mecânica pela transmissão elétrica. Isso aconteceu devido aos avanços tecnológicos ocorridos na área da Eletrônica Industrial, que tornaram a transmissão elétrica novamente competitiva comparada com a transmissão mecânica. A transmissão elétrica apresenta vantagens como: menor espaço físico ocupado, menor peso e volume, elevadas faixas de potência gerada para valores específicos de torque, resistência ao choque e ainda baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

Capítulo 2

Propulsão Elétrica 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 7 – Rebocador de Alto Mar “Triunfo” da Marinha do Brasil. Era dotado de um sistema de propulsão elétrica em corrente contínua.

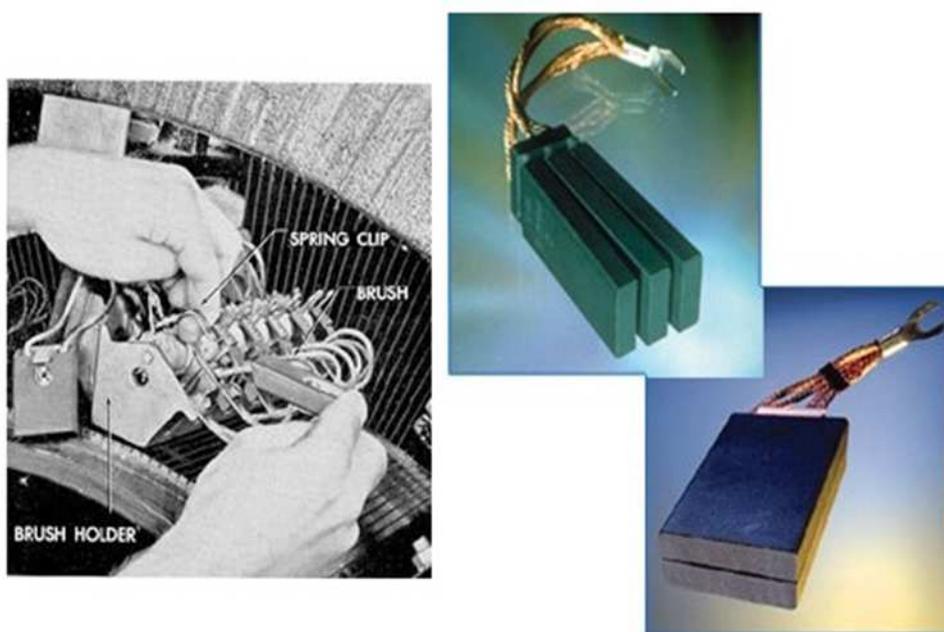


Atualmente, a propulsão elétrica em CC encontra-se em escassez no setor marítimo, apesar de ainda existirem algumas embarcações que trabalham com propulsão e instalações em corrente contínua, devido às necessidades para manobras em águas restritas. A antiga planta de propulsão elétrica em corrente contínua, 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.

2.1 – Motor Elétrico de Propulsão por Corrente Contínua

O MEP da propulsão elétrica em corrente contínua era um motor do tipo série universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas. O uso contínuo e as grandes variações de corrente em manobras provocavam desgaste acelerado de ambos e requeriam constante manutenção das escovas e do coletor, por causa disto o uso de motores com escova está em declínio.

FIGURA 8 - Imagem da esquerda - Coletor, porta - escovas e escovas do MEP de um antigo submarino;Imagens da direita - escovas do MEP de um submarino antigo.



2.1.1-DESGASTE E MANUTENÇÃO BÁSICA

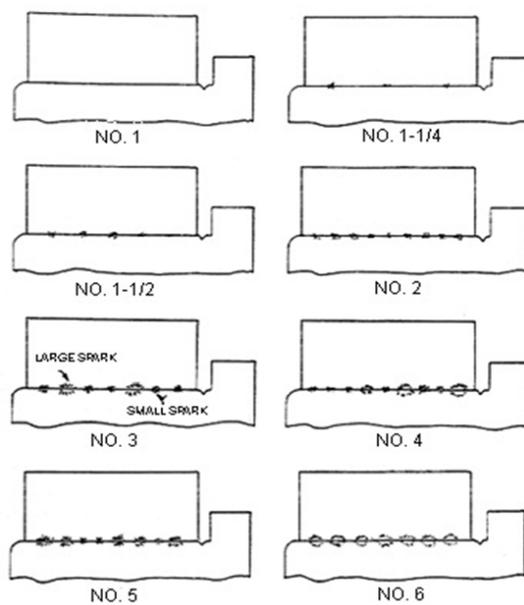
Na medida em que o atrito escova – coletor provoca o desgaste da escova, as centelhas começam a surgir, desde uma pequena centelha até várias grandes centelhas. O processo é cumulativo, aumentando exponencialmente as centelhas e, conseqüentemente, o calor produzido. Se esse calor for exagerado, ele pode 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 9 - Janela de Inspeção do Motor de Propulsão do Rebocador: Richard M. Currance, com visão das escovas.



FIGURA 10 - Processo de desgaste das escovas em um MEP



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.

2.1.2 – 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.

Capítulo 3

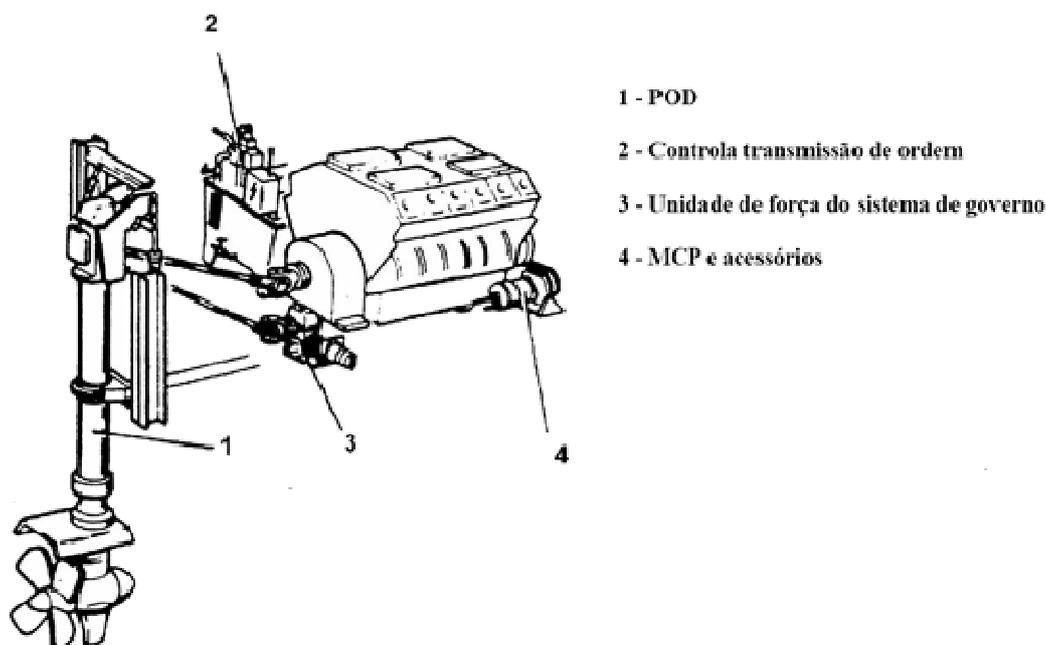
Propulsão Elétrica por Corrente Alternada– MEP no navio

3.1- Sistema Shottel

O Sistema Shottel foi aquele que serviu de base para os atuais sistemas de propulsão por corrente alternada, introduzindo o conceito de POD no setor naval.

A crise do petróleo e o fechamento do Canal de Suez obrigaram os armadores a buscarem meios eficientes e econômicos de efetuar o transporte do petróleo do oriente médio até portos europeus e japoneses. Desta necessidade surgiram os gigantescos navios tanque acima de 200 mil toneladas, que logo ficaram conhecidos como VLCC e ULCC (*Very large crude carrier* e *Ultra large crude carrier*, respectivamente). O surgimento destes navios petroleiros acarretou no crescimento do mercado para as EAM, havendo então a necessidade de criar melhores embarcações de apoio, capazes de realizar manobras em águas restritas de um porto ou terminal de forma satisfatória. Um dos sistemas que mais se popularizaram no setor naval por atender a essas necessidades foi o Sistema Shottel.

FIGURA 11- Esquema MCP – POD no Sistema Schottel



O Sistema Shottel era constituído basicamente de hélices propulsores montados em um conjunto com capacidade de ser movimentado no plano horizontal (em azimute), como pode ser visto na figura 12. 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.

3.2- Propulsão elétrica em corrente alternada

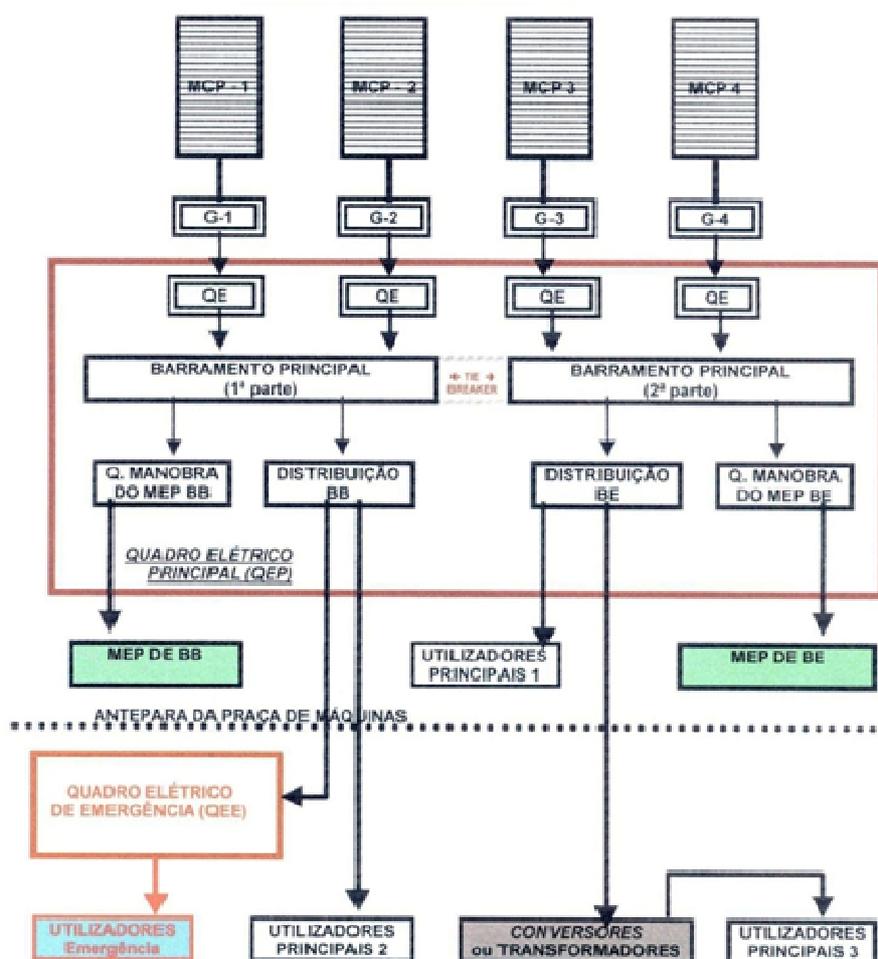
Apesar dos motores de propulsão elétrica por corrente alternada (CA) só se popularizarem na década de 80, eles surgiram na indústria naval no final da década de 50. O aumento da demanda por potência provocou uma diminuição no uso de sistemas baseados em corrente contínua já que o peso e o tamanho dos 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 numero 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 13- 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.

3.3- Propulsão elétrica com retificador e inversor

O uso de tiristores (componentes básicos da Eletrônica Industrial, capazes de chavear grandes cargas) tornou possível controlar a frequência de onda de energia que se envia para o motor, modulando assim a onda certa para cada operação. A RPM do motor em corrente alternada varia de acordo com aceleração ou desaceleração do rotor, que é coordenado por um sensor de posição capaz de comparar a posição do rotor em relação ao estator.

3.3.1- Sistema Retificador-Inversor

O sistema de propulsão elétrica com retificador e inversor um conjunto de componentes eletrônicos capazes de promover a modulação precisa da onda que é enviada ao motor.

A corrente alternada produzida pelos grupos geradores é retificada pelos grupos retificadores, convertendo-a em corrente contínua. Essa corrente é então modulada por um inversor para que possa atingir a amplitude e a frequência desejada, podendo ser reduzida ou aumentada, fazendo com que o campo induzido acelere ou atrase. A operação é monitorada pelo sensor de posição a cada volta do rotor, podendo então gerar o tipo de onda necessária. O funcionamento dos inversores de potência atuais utiliza o método de modulação por largura de pulso (PWM).

Existem três métodos mais comuns de partida desse tipo de motor elétrico que são: sistema direto, estrela-triângulo e soft-starter. Os sistemas mais encontrados a bordo são o sistema direto e estrela-triângulo.

O método de partida direta consiste numa ligação entre os enrolamentos do estator do motor entre as fases. É um método simples, mas que pode fazer a corrente de partida alcançar até doze vezes o valor da corrente nominal, forçando o projeto do motor a ser superdimensionado para que não ocorram danos ao motor por ocasião de sua partida. É comum ocorrerem quedas de tensão na rede elétrica durante os altos valores de pico de corrente.

Em se tratando de motores elétricos trifásicos, podemos também utilizar o método estrela- triângulo que consiste em partir o motor em estrela durante os primeiros segundos de funcionamento do mesmo em que a corrente que o percorre atinge valores

bem altos, para retirá-lo da inércia nesse primeiro instante a tensão em cada enrolamento é menor que a tensão entre as fases do motor. Após o motor ter sido retirado da inércia, uma chave, normalmente automática é acionada, alterando a ligação para triângulo, conseqüentemente cada enrolamento recebe então tensão de valor igual àquela que prevalece entre as fases.

Esses dois métodos são os mais utilizados a bordo, sendo que o estrela-triângulo proporciona menores correntes de partida que o método direto, embora ainda seja considerada uma variação brusca de tensão.

O terceiro método usado é a partida soft-starter, que combina o uso da eletrônica industrial para que seja alcançada uma partida mais suave, utilizando pares de tiristores ou combinações tiristores/diodos para cada fase do motor. O controle eletrônico faz como que a tensão seja variada de maneira gradativa até que a tensão de trabalho do motor seja atingida, fazendo com que a corrente de partida seja próxima da corrente nominal.

É comum o uso de hélices de passo controlável (HPC) em conjunto com tipo de partida com o intuito de diminuir as grandes variações de carga sofridas pelo MEP. Usar o passo variável permite fazer a reversão sem a necessidade de parar o MEP, método que também é utilizado por motores elétricos menores que acionam guinchos de atracação e molinetes de ferros.

O sistema de partida soft-starter produz valores harmônicos de frequência, pois ele se opõe às variações de corrente. Embora esses harmônicos não apresentem um problema com relação ao consumo de energia, eles podem influenciar na precisão dos controles da automação. Isso pode causar leituras erradas dos instrumentos e atrapalhar na distribuição de carga entre os geradores, fazendo com que a automação retire um dos geradores do barramento, levando então à perda de um MEP. Se isso ocorrer durante uma operação de manobra, por exemplo, pode acabar comprometendo seriamente a segurança da tripulação.

Nesses motores o controle de velocidade é feito através de inversores, dispensando o uso dos antigos atuadores mecânicos. Os inversores são componentes eletrônicos que são capazes de modular precisamente a amplitude e a frequência da onda que será enviada ao motor elétrico, controlando assim sua velocidade e torque desejados, entre outros parâmetros, adequando-os de acordo com a necessidade da operação específica que embarcação precisar desempenhar. O uso dos inversores também causa a aparição de harmônicos no sistema elétrico devido à natureza do retificador de entrada. A solução é retificar a corrente antes que ela chegue ao inversor.

O uso dos retificadores e inversores permite que o MEP possa variar a sua velocidade independentemente das velocidades dos MCI e do GEP. Quanto maior for a necessidade de energia a automação colocará mais geradores no barramento e efetuará o balanceamento entre as cargas ativas e reativas entre eles, todos operando na faixa ideal para melhor economia.

Capítulo 4

Propulsão Elétrica em Corrente Alternada – MEP no POD

4.1- Introdução à propulsão 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 14- Pod do sistema AZIPOD®, comparado ao tamanho de um homem.



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.

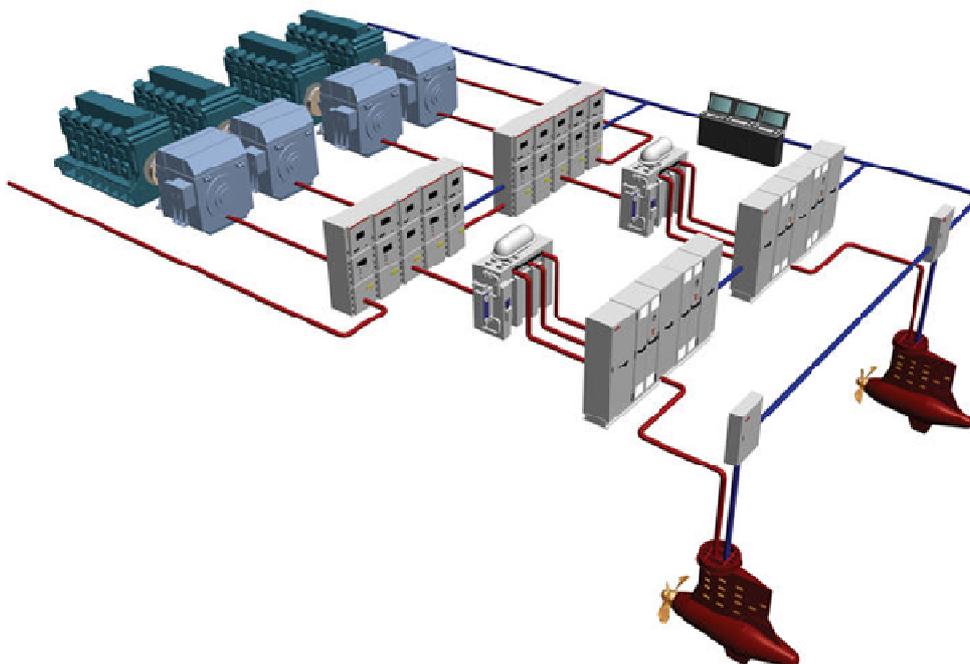
4.2- Sistema Elétrico de um AZIPOD®

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, 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.

FIGURA 15- Sistema AZIPOD®



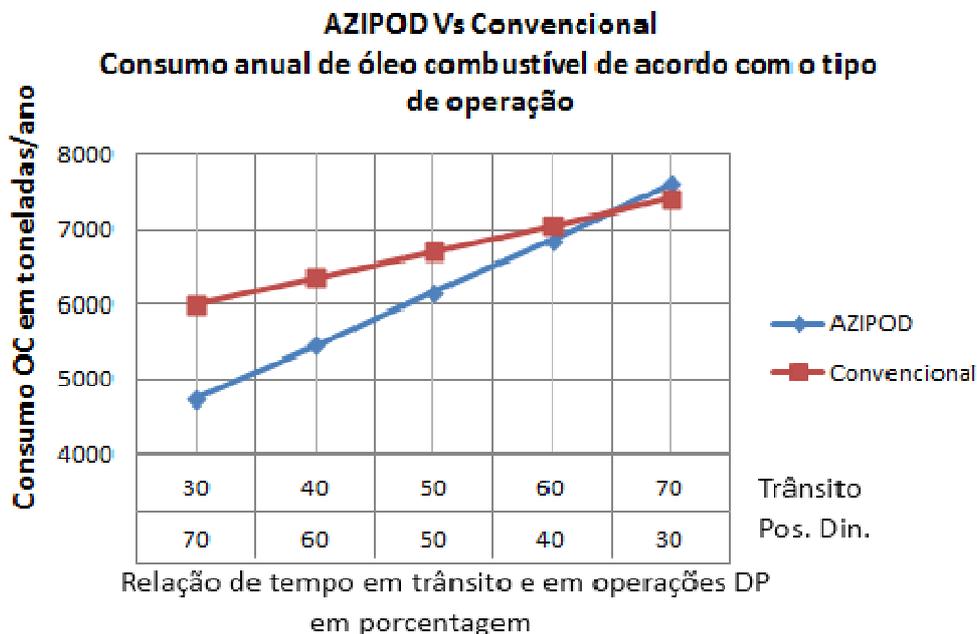
Os motores da propulsão AZIPOD®, que podem ser síncronos ou assíncronos, são instalados no POD e acionam diretamente um hélice propulsor de passo fixo no prolongamento do eixo. Os hélices são montados com passo fixo, pois o controle do torque e da rotação é feito através do inversor de frequência PWM. 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.

4.3- Comparação do Consumo de Combustível de um Sistema com um Sistema Convencional de Propulsão

O gráfico a seguir relaciona o consumo de óleo combustível (OC) de uma embarcação dotada de um sistema AZIPOD® com o consumo de outra que utiliza um sistema convencional de propulsão com eixo acoplado ao MCP. O gráfico ainda se baseia no tempo de uso de tais sistemas durante operações de trânsito ou de posicionamento dinâmico (DP).

FIGURA 16 - Gráfico de Comparação entre o Sistema AZIPOD® e o Sistema Convencional



Percebe-se facilmente que quando uma embarcação que possui sistema AZIPOD® passa mais de 70% do tempo em trânsito e menos de 30% em operações DP, ela deixa de apresentar vantagens em relação ao sistema convencional, pois consome mais combustível. O ideal então é utilizar o sistema AZIPOD® em embarcações que requeiram grande capacidade de manobra e que façam uso do posicionamento dinâmico por longos períodos.

Outro fator que também influencia na opção pelo sistema de propulsão AZIPOD® é a pouca necessidade de manutenção e baixos custos da mesma em relação ao sistema de propulsão convencional, pelo fato de o sistema AZIPOD® apresentar um número menor de equipamentos mecânicos que podem apresentar alguma espécie de problema.

O fato de o motor permanecer mergulhado na água proporciona mais espaço livre dentro do navio, que pode ser aproveitado para outros fins. A baixa emissão de poluentes, devido à rotação constante do MEP, tem sido bastante relevante mediante as exigências do setor marítimo atual.

A unidade AZIPOD® é um projeto versátil. Ela pode ser montada para puxar ou para empurrar, em águas livres ou em águas com gelo, pois a unidade pode ser montada com hélices fora do centro, possibilitando assim projetos de cascos mais simples e com excelente desempenho de campo de esteira.

4.4- 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.

4.4.1- Arranjos Simples e Duplo

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 17- Arranjo de Propulsão AZIPOD® Dupla

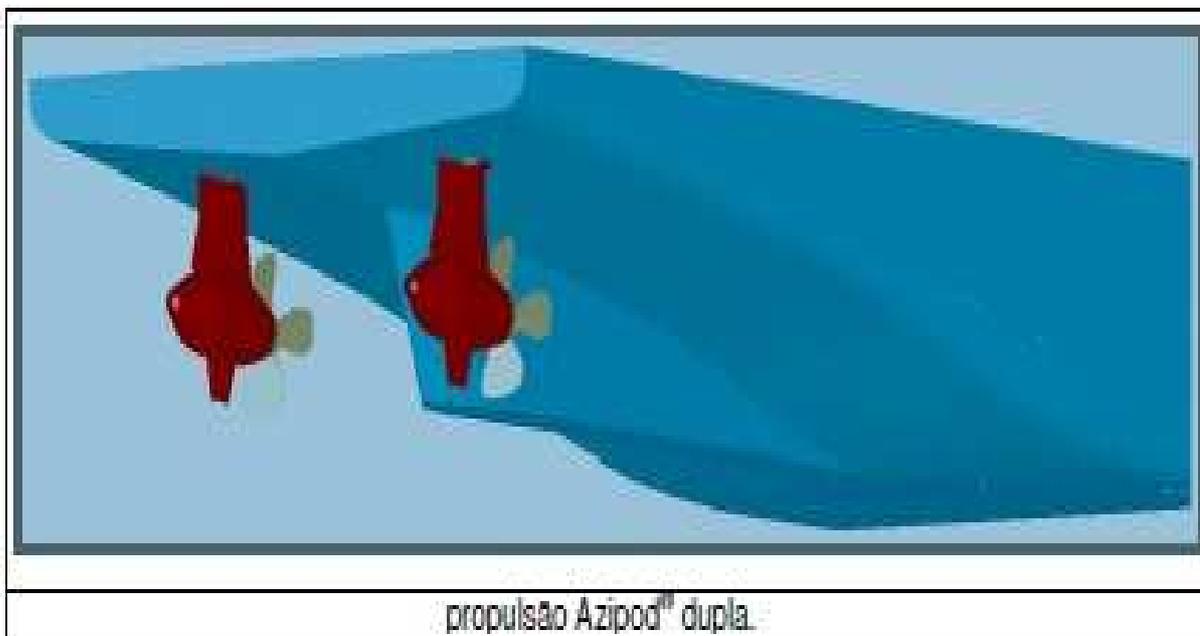
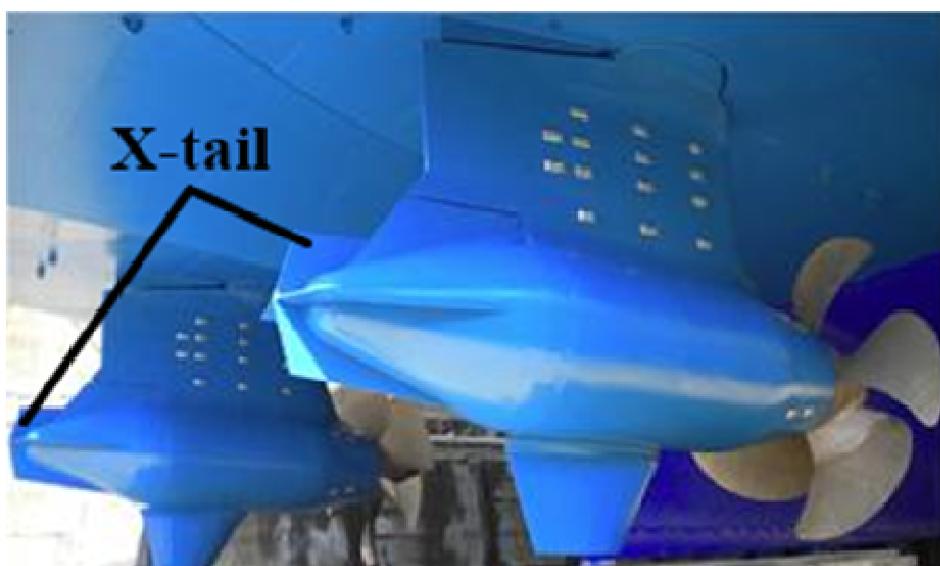


FIGURA 18- Arranjo duplo AZIPOD® com X-tail

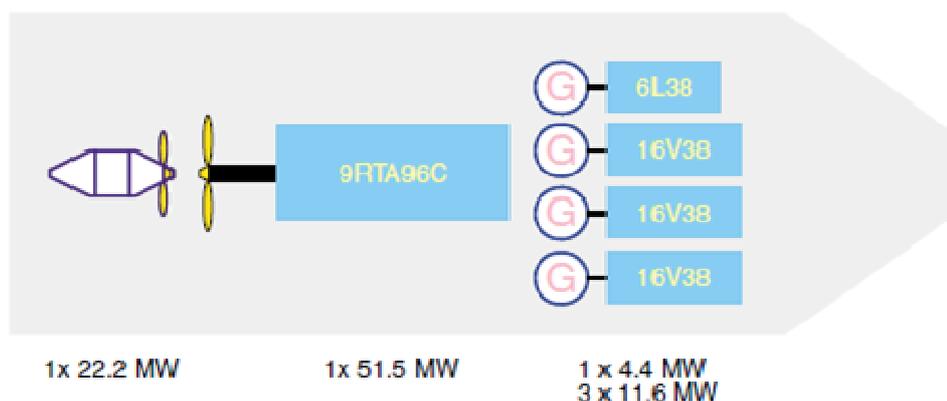


4.4.2- Propulsão CRP

Ela é uma solução competitiva para os porta-containers 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.

Figura 19- Esquema de uma embarcação com CRP AZIPOD®



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, contêineres, plataformas de alto mar, quebra-gelos e diversos tipos de ferry-boats rápidos.

4.5- 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.

Considerações Finais

O conteúdo apresentado nesta monografia expõe a evolução dos sistemas de propulsão elétricos no setor naval numa abordagem histórica, enfatizando a influência do contexto político-econômico mundial no desenvolvimento de novas tecnologias.

As vantagens de se fazer uso da propulsão elétrica são incontestáveis em embarcações que requeiram operações dinâmicas e com excelente manobrabilidade. Os menores custos de manutenção e níveis reduzidos de assinatura acústica oriundos da utilização desse sistema de propulsão também o fazem preponderar sobre a transmissão mecânica.

A propulsão elétrica segue também a tendência mundial de reduzir a emissão de poluentes tanto na atmosfera quanto nos oceanos, fomentando constantes investimentos e fazendo esse sistema prevalecer cada vez mais em diversos seguimentos do setor marítimo, especialmente na indústria offshore.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IBRAHIM, Eden Gonzalez. *Propulsão elétrica de embarcações*. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.
- [2] WATSON, G. O. **Marine Electrical Practice (Marine Engineering Series)**. 6. Ed. New York: Book News Inc. 1991.
- [3] **OEHLERS, Werner. 95 years of diesel-electric propulsion form a makeshift solution do a modern propulsion system. 2. Ed. Helsinki, Finlândia: Norwegian Society of Chartered Engineers, 1998.**
- [4] BRASIL. **Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas até 1997**. Diretoria de portos e costas da Marinha Brasileira. Rio de Janeiro. 2001. Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em: 08 ago. 2013
- [5] DEL PROPOSTO, C. **Der Antrieb von Schiffendurchnichtreversierbare Maschinen**. Brüssel: Bulletin de la Societe beige d'Electriciens. 1906.
- [6] WhatisAzipod®?
<http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/b4c6f2757969bba6c12571f100410217.aspx> Acesso em: 7 de ago. 2013