



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



BRUNA GALLIPOLI DILÉO



SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO
2013

BRUNA GALLIPOLI DILÉO

-
-
-
-
-

SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

-
-
-
-

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

BRUNA GALLIPOLI DILÉO

-
-
-

SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

-
-
-

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador (a): CMG-Ref. Eden Gonzalez IBRAHIM

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus e a minha família, pela incrível paciência e imensurável suporte e incentivo dado durante toda a minha vida. Ao CMG Ibrahim, meus sinceros agradecimentos por todos seus ensinamentos, dentro e fora de sala de aula, e pela paciente orientação desta monografia.

*"Porque repetir erros antigos quando há tantos erros novos a cometer?".
(Bertrand Russel)*

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo explicar a origem, a evolução e o funcionamento dos sistemas de propulsão elétrica. Primeiramente será abordado seu desenvolvimento desde o início do século XIX até os dias de hoje, partindo de modelos ainda experimentais de corrente contínua até o aprimoramento do Azipod®.

Em seguida serão abordados as duas modalidades de sistema encontradas a bordo de navios mercantes: a em corrente contínua e a em corrente alternada. Em cada caso serão comentados os componentes de cada tipo de sistema, sua planta característica e explicado como eles operam, além das vantagens e desvantagens e da importância de cada tipo.

Será dada uma atenção especial ao sistema Azipod®, contando com a elucidação dos principais subsistemas que este contém e mostrando a relevância de sua aplicação no posicionamento dinâmico.

ABSTRACT

The main goal of this paper is explain the origin, the evolution and the operation of electric propulsion systems. First will be approached its developments since the early nineteenth century until the present day, from experimental DC models to the improvement of the Azipod®.

Next will be discussed the two types of systems found aboard merchant ships: the direct current and alternating current. In each case will be discussed the components of each type of system, its characteristic plant and explained how they operate and the benefits and disadvantages and the importance of each type.

Special attention will be given to the Azipod® system, with the elucidation of the major subsystems it contains and shows the importance of its application in dynamic positioning.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: PARTES INTERNAS DE UM MOTOR CC
- FIGURAS 2: FUNCIONAMENTO DO COMUTADOR EM UM MOTOR CC
- FIGURA 3: ESQUEMA DE UM SISTEMA SCHOTTEL
- FIGURA 4: THRUSTER VISTO EXTERNALMENTE
- FIGURA 5: THUSTER VISTO INTERNALMENTE
- FIGURA 6: PLANTA DE UM SISTEMA DE PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA
- FIGURA 7: ESQUEMA DE UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA
- FIGURA 8: MÓDULO AZIPOD®
- FIGURA 9: A POSIÇÃO DE UM AZIPOD® EM UMA EMBARCAÇÃO
- FIGURA 10: CRP AZIPOD®
- FIGURA 11: CONJUNTO DE UNIDADES DE UM AZIPOD®
- FIGURA 12: SISTEMA DE GOVERNO DE UM AZIPOD®
- FIGURA 13: ROTA DO MAR DO NORTE
- FIGURA 14: COMPONENTES DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO
- FIGURA 15: GRÁFICO DE POTÊNCIA, TORQUE E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE UM MOTOR DIESEL
- FIGURA 16: GRÁFICO COMPARATIVO DE REDUÇÃO DE POLUIÇÃO ENTRE OS DIFERENTES SISTEMAS DE PROPULSÃO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELÉTRICA	10
1.1 O SURGIMENTO DOS PRIMEIROS MODELOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA	10
1.2 OS AVANÇOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS	10
PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA	13
2.1 O MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA (CC)	13
2.1.1 PARTES DO MOTOR CC	13
2.1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	14
2.1.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA	14
2.2 PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA	15
PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA	18
3.1 SISTEMA SCHOTTEL	18
3.2 MOTORES CA	19
3.3 PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA	20
3.4 O INVERSOR DE FREQUÊNCIA	23
AZIPOD®	25
4.1 AS UNIDADES DO AZIPOD®	27
4.1.1 SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA	28
4.1.2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO	28
4.1.3 SISTEMA DE GOVERNO	28
4.1.4 SISTEMA DE SELAGEM	29
4.1.5 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO	29
4.1.6 SISTEMA DE DRENAGEM	30
4.2 NAVIOS DE DUPLA AÇÃO	30
4.3 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DINÂMICO (DP)	31
VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	36

INTRODUÇÃO

O sistema de propulsão de um navio é composto por elementos e tecnologias que serão utilizados para vencer a pressão da água e imprevistos atmosféricos, visando impulsionar a embarcação.

As primeiras embarcações tiveram como meio de propulsão o remo, evoluindo então para a vela e turbina a vapor com roda lateral. Porém, em função dos impedimentos que esses sistemas proporcionavam, foi desenvolvido o hélice e sistemas mais adequados para promoverem o deslocamento sobre a água.

Este sistema 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.

No que tange sua aplicação no apoio marítimo, o sistema tem muitas limitações, o que acaba gerando o desenvolvimento da propulsão elétrica como solução para o problema. A seguir serão apresentados mais detalhes sobre sua origem e explicações sobre os diversos tipos encontrados na área naval.

CAPÍTULO 1

EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

1.1 O SURGIMENTO DOS PRIMEIROS MODELOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

As primeiras utilizações da propulsão elétrica datam do final do século XIX, onde algumas embarcações pequenas construídas na Rússia e na Alemanha eram movidas a baterias.

Em 1913, a Marinha Americana (USN) implementou, em caráter experimental, a geração de energia elétrica com fins propulsivos no navio carvoeiro USS “Jupiter”. Ele era dotado de um turbogerador em corrente alternada (CA) que alimentava dois motores de indução instalados diretamente nos dois eixos da embarcação.

Na Europa, os navios que operavam com propulsão elétrica contavam com turbogeradores 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 propulsivo.

Em 1915 foi implementado no navio USS “New Mexico” o uso de motores gaiola de esquilo, capazes de desenvolver torques maiores e praticamente constantes mesmo com as variações de velocidade do rotor.

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 turbogeradores. Também vale ressaltar a ampliação do uso desse sistema em navios de guerra por conta da falta de capacidade de fabricação de engrenagens redutoras no período entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial.

No entanto, em meados do século XX, foram introduzidos no mercado motores diesel mais econômicos e de alta eficiência que, junto às desvantagens apresentadas pela propulsão

elétrica (aparatos de maior peso e volume e de menor rendimento), se tornaram mais competitivos e acabaram sendo largamente empregados nas décadas seguintes.

Também é relevante destacar a importância do desenvolvimento dos submarinos para a evolução da propulsão elétrica. Essas embarcações contam com motores de combustão interna (MCI) para acionarem geradores, os quais carregam as baterias (asseguram a autonomia do sistema sob a água) e energizam os motores elétricos de propulsão (MEP). A limitação quanto a quantidade de ar disponível para a combustão impede o uso da propulsão mecânica durante o mergulho, ou seja, o motor só pode ser ligado quando o submarino estiver na superfície ou próximo de modo a permitir o uso do snorkel.

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.

1.2 OS AVANÇOS NAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Na década de 70 a crise mundial de petróleo causou a alta dos preços dos barris no mercado internacional e a dificuldade de comprar óleo cru vindo do Oriente Médio abriu precedentes para a busca de petróleo em outros países e para a intensificação da exploração em produtores menores como o Brasil. Contudo, o nosso país só contava com tecnologias que permitiam produções em lâminas d'água menores que cinquenta metros.

A descoberta da Bacia de Campos em 1974 e a então recente necessidade da prospecção em maiores profundidades exigiram embarcações mais ágeis em manobras de perfuração, indispensáveis para manter navios e plataformas imóveis em um ponto fixo na superfície do oceano. Entretanto, por se encontrarem em alto mar, estavam sujeitos a grandes ondas e fortes ventos e, por isso, demandavam o uso de movimentos laterais e compostos como forma de compensar essas forças.

A precisão requerida nas operações foi um fator determinante para o desenvolvimento da propulsão elétrica. O principal resultado dos investimentos na área foi a criação de um

sistema que garantia a estabilidade necessária: o Sistema de Posicionamento Dinâmico (DP). Ele determina um ponto fixo qualquer e usa como referência as informações de instrumentos que detectam o movimento da embarcação, como o Sistema Global de Posicionamento (GPS), agulha giroscópica e anemômetro, para acionar hélices transversais e azimutais.

Manobrar um navio grande no porto é notoriamente uma tarefa árdua e não raramente exigere bocadores portuários, sobretudo quando possuem somente um hélice de popa. Um dos avanços nos novos sistemas é a inclusão de propulsores laterais conhecidos como “bowthruster” e “sternthruster” a fim de evitar o uso de embarcações de apoio para atracar/desatracar e, conseqüentemente, os elevados gastos que isso envolve.

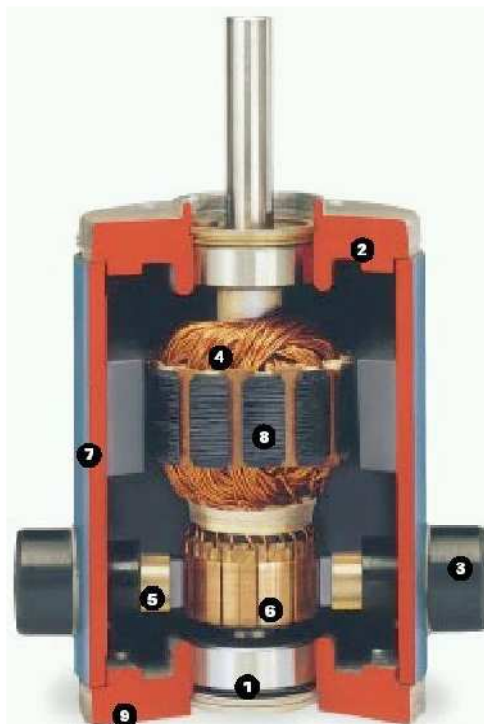
Os thrusters podem ser acionados hidráulica ou eletricamente, sendo que esta última consegue respostas mais rápidas. O acionamento elétrico costuma usar motores de indução de corrente alternada, o qual atinge altas correntes quando ocorre a reversão da marcha durante a manobra. Com o objetivo de evitar esse problema, foi desenvolvido o hélice de passo controlável: ele permite a alteração da angulação das pás sem que seja necessário mudar o sentido que o eixo gira.

CAPÍTULO 2

PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

2.1 O MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA (CC)

2.1.1 PARTES DO MOTOR CC



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

Figura 1

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 ímãs 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.

2.1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

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.

Os enrolamentos de campo produzem um campo magnético no sentido norte-sul quando alimentados pela fonte. Quando a armadura é alimentada, faz-se passar uma corrente sobre os condutores que, imersos no campo magnético, produzem forças eletromagnéticas. Essas forças formam o torque (representado nas figuras 2.2 (a) e (b) pelo binário), o qual é responsável por gerar o movimento do eixo.

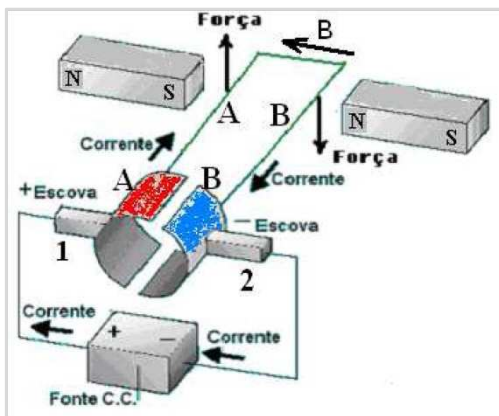


Figura 2(a)

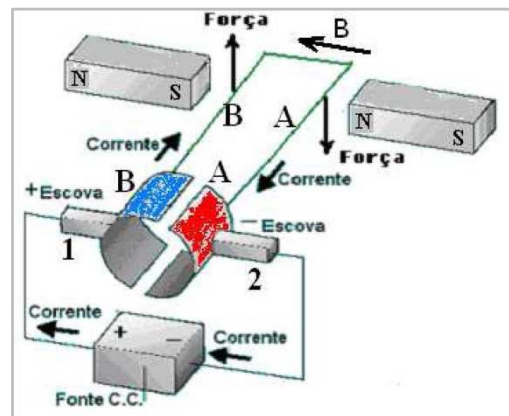


Figura 2(b)

As figuras acima mostram a importância do comutador no funcionamento do motor: ele permite a troca do sentido da corrente no enrolamento para que não haja a mudança no sentido da força nem no sentido de rotação do eixo.

2.1.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Os motores CC podem ser classificados quanto ao tipo de ligação entre o enrolamento de campo e o de armadura, da seguinte forma:

- a) Excitação Independente: o enrolamento de campo possui uma fonte de alimentação diferente da de armadura.
- b) Excitação Série: os enrolamentos de campo e de armadura estão ligados em série e, portanto, só exigem uma fonte de alimentação CC.
- c) Excitação Paralela (*Shunt* ou em Derivação): os enrolamentos de campo e de armadura estão em paralelo sendo necessária, também, apenas uma fonte CC para alimentar o circuito.
- d) Excitação Mista (ou Composta): o estator possui duas bobinas, uma série e outra em paralelo com a bobina do rotor, a fim de aproveitar os benefícios de cada tipo de ligação.

Os motores de excitação em série podem ser alimentados tanto com corrente contínua quanto com corrente alternada, sendo também conhecido como motor universal. É importante observar ainda que existem motores CC com imãs permanentes, ou seja, não é necessário o circuito indutor. O objetivo da classificação acima é definir os diferentes tipos de controle de velocidade e a capacidade de carga de cada categoria. Podemos usar o motor com excitação independente como exemplo, cuja velocidade pode ser controlada de três formas: adicionando-se uma resistência em série com um dos enrolamentos (rotor ou campo), alterando a tensão da armadura ou a de campo (variando o fluxo magnético). A primeira pode ser colocada em prática acrescentando chaves e reostatos aos circuitos citados. No segundo arranjo, considerando o aumento da tensão da armadura, causa o aumento da corrente, ocasionando o aumento da força e, por conseguinte, do torque. Já no terceiro, considerando o aumento da tensão de campo, há o aumento do fluxo magnético e diminuição da corrente de armadura, diminuindo o torque e elevando o número de rotações.

2.2 PROPULSÃO EM CORRENTE CONTÍNUA

Os motores CC destacam-se pelas suaves variações de velocidades, característica decorrente de sua construção que é fundamental nas manobras e que garantiu seu emprego nos primeiros submarinos e rebocadores.

A planta geralmente utilizada nesse sistema de propulsão conta com quatro geradores elétricos de propulsão (GEP) de 220 volts CC e quatro motores elétricos de propulsão (MEP), sendo empregados dois em mecanicamente conectados em cada eixo, entre o mancal de escora e o hélice.

A flexibilidade das manobras é garantida por uma série de características inerentes do sistema como a variedade de excitações disponíveis, a ampla faixa de velocidades de rotação e os seus diversos meios de controle. Apesar da grande quantidade de mecanismos de regulagem configurar uma vantagem, o emprego de chaves e reostatos como recurso provoca alta dissipação de calor, o que torna seu uso um inconveniente.

Outro empecilho relativo ao uso de corrente contínua é a maior frequência de manutenção requerida. O uso contínuo dos motores e as grandes variações de corrente causa o desgaste acelerado dessas peças e provoca centelhamentos (spark), liberando calor e podendo derreter o material isolante entre as teclas ou entre as teclas e o eixo e danificar o coletor do motor. O centelhamento intenso é o indicador que a manutenção do equipamento é imperativa e urgente.

Para evitar que o motor aqueça demasiadamente, usa-se ventoinhas. Contudo, a praça de máquinas contém fuligens, poeira e umidade, que são puxadas para dentro do motor pela ventilação e tornam o dispositivo vulnerável a baixa resistência de isolamento.

É ainda imprescindível realizar certos procedimentos de reparo para o bom funcionamento das máquinas, como a limpeza tanto do coletor, com o emprego de materiais não-abrasivos e não-condutores, como também do isolante encontrado entre as teclas, atentando para não o destruir.

Deverá também ser feita a revisão das escovas, onde precisa identificar se será preciso a troca ou apenas a regulagem da superfície, levando em consideração o desgaste sofrido por elas. Esse ajuste só poderá ser realizado se a mola tiver tensão suficiente para manter a escova em contato com o coletor. Isto pode ser verificado usando um instrumento medidor de tensão da mola ou colocando uma folha de papel branco entre o coletor e as escovas e girando manualmente o motor a fim de verificar se as marcas do grafite correspondem ao padrão.

Além destas, é realizada a calagem ou ajuste angular do porta-escovas que consta em alguns procedimentos enquanto o motor estiver em carga (circulando corrente). Precisa ser executada até não resultar em nenhum ou quase nenhum centelhamento nos contatos das teclas do coletor com as escovas.

Mesmo com muitas desvantagens, a propulsão em corrente contínua tinha melhores respostas que a propulsão convencional com MCP diretamente ligado ao hélice. O motor de combustão não dava partida com baixas rotações e, por isso, necessitava de sucessivas

partidas que dependiam da quantidade de ar acumulado nas ampolas. Quando o ar engarrafado já não era mais suficiente para dar partida, era preciso encher as ampolas novamente, o que deixava os navios à deriva até que o motor “pegasse”. Em contrapartida, na propulsão em CC, o motor diesel opera ininterruptamente na mesma rotação, mesmo que o navio esteja atracado ou fundeado.

CAPÍTULO 3

PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA

3.1 SISTEMA SCHOTTEL

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.

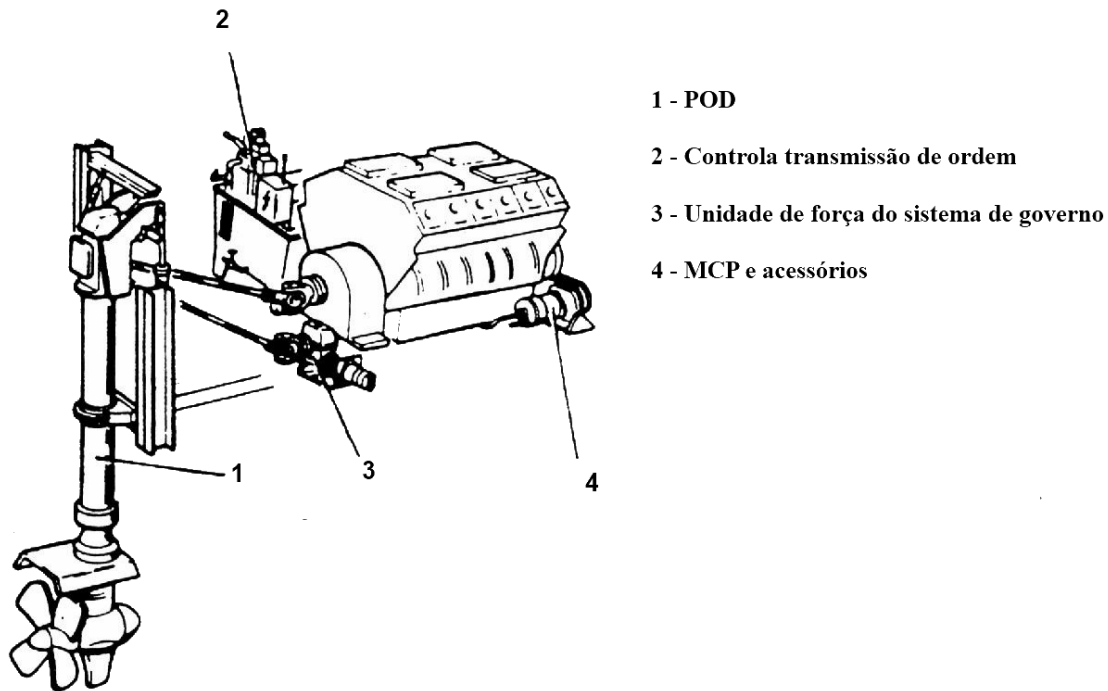


Figura 3

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.

3.2 MOTORES CA

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.

3.3 PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA

O sistema tem o intuito de eliminar o eixo que interliga o MCP e o hélice sobrepor as limitações tecnológicas da propulsão em corrente contínua. Seu desenvolvimento foi possibilitado pela evolução da eletrônica de potência, a qual se utiliza de dispositivos semicondutores que operam em regime de chaveamento para realizar o controle do fluxo de energia e a conversão de formas de onda de tensões e correntes entre fontes e cargas.

A propulsão em corrente alternada é muito utilizada hoje em dia, pois não requer constante manutenção e não exige tanto espaço para seus equipamentos, área que pode ser comercializada. Além destes, há outros fatores decisivos para a expansão da sua utilização na indústria naval como diminuição de ruídos e vibrações em relação à propulsão mecânica e a substituição de eixos por cabos elétricos, o que impossibilita problemas de desalinhamento.

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) a 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.

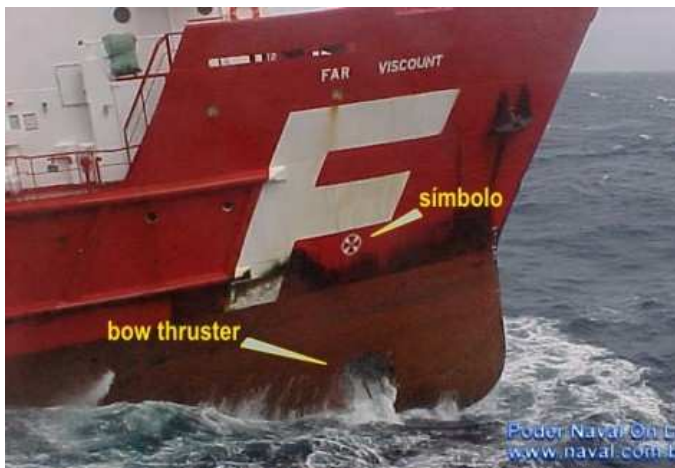


Figura 4

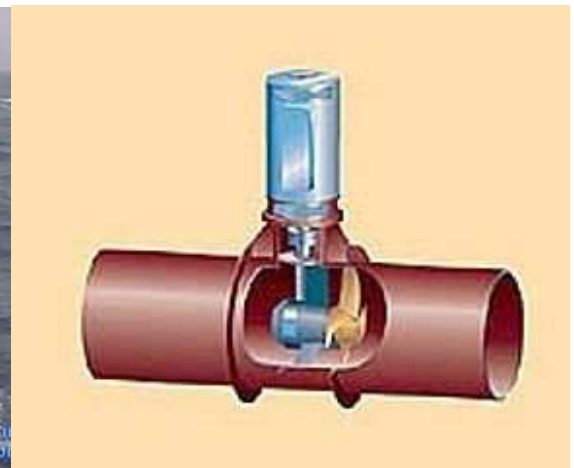


Figura 5

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.

Os componentes principais encontrados na planta da propulsão em corrente alternada são o equipamento de acionamento principal, gerador, motor elétrico e conversores. Esse tipo de sistema não conta com MCAs; os motores diesel encontrados a bordo são MCPs, cada qual acionando um gerador. Estes alimentam o quadro elétrico principal que distribui a energia para os utilizadores e para o quadro de manobras do navio. A planta descrita é ilustrada na figura abaixo.

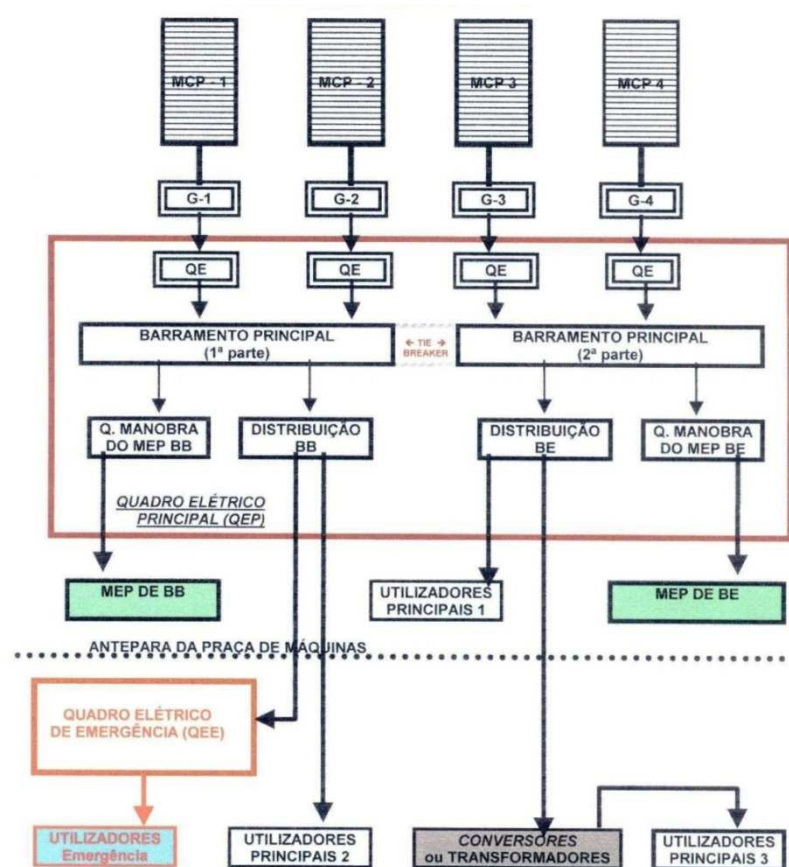


Figura 6

Também é possível identificar no diagrama acima a presença do “tie breaker” (chave seccionadora), que tem a capacidade de isolar partes de um circuito elétrico interrompendo o fornecimento de energia. Essa proteção pode ser normalmente aberta (NO) ou normalmente fechada (NC) e os planos dos quadros devem indicar qual é o tipo de chaves encontrado no circuito. A Convenção SOLAS determina que sua presença seja obrigatória na planta, mas não estipula a quantidade necessária, estando esta em função da corrente de carga.

Em geral, a automação do QEP controla a situação da demanda de energia do navio. Quando há um aumento do consumo como, por exemplo, a aceleração do navio, a automação aciona outro MCP, verifica a excitação do GEP, fecha o disjuntor e distribui a carga. Apenas após esse processo é que ocorre o aumento da velocidade da embarcação a partir do aumento das rotações do MCP.

3.4 O INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Como recurso para o aperfeiçoamento da propulsão elétrica foram implementadas a retificação e a inversão do sinal da rede com o propósito de evitar que harmônicos de frequência se propagassem no barramento do QEP. Eles são originados a partir da variação de carga dos MEPs em consequência da oposição do sistema a variação de corrente.

Os harmônicos atuam negativamente na automação prejudicando a precisão dos aparelhos de medida e gerando dificuldade de manter o paralelismo dos GEPs. O erro de leitura dos instrumentos dificulta a distribuição de carga e pode chegar a tirar um gerador de barra. Considerando que em regime de manobra há maior demanda de energia (e maior variação de carga), há maior probabilidade de instabilidade no sistema com o aparecimento de harmônicas, podendo até causar um blackout.

Os inversores de frequência são componentes eletrônicos capazes de modular precisamente a amplitude e a frequência da onda que será enviada ao motor, operando como uma interface entre ele e a rede de alimentação a fim de controlar sua velocidade e seu torque. O objetivo da sua aplicação nas instalações elétricas do navio é permitir a aceleração do motor de propulsão sem ter que aumentar a RPM do motor diesel. Dessa forma, permite que estes trabalhem na melhor faixa de desempenho e sejam mais eficientes.

Consta basicamente de três estágios: seção retificadora, onde é encontrada uma ponte de diodos (converte o sinal CA em CC), um link DC, que nada mais é que um filtro com capacitores a fim de reduzir o ripple do sinal e a seção inversora, que inclui uma série de tiristores os quais convertem CA em CC novamente, disponibilizando um sinal de tensão e frequência variáveis.

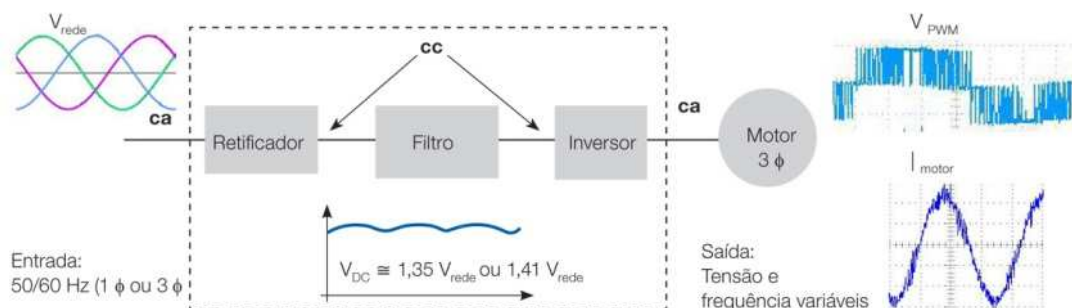


Figura 7

Podem ser divididos em escalar e vetorial. O primeiro opera com a relação tensão/frequência constante, com o objetivo de manter o torque constante para não provocar

alterações na rotação quando se encontra com carga. Para visualizar melhor esta ideia, imagine um inversor controlando a velocidade de rotação de uma placa de torno (onde se fixa a peça a ser usinada). Ao introduzir a ferramenta de corte, adiciona-se uma carga mecânica ao motor em questão e este deve manter a rotação constante. Caso este altere o valor de RPM, o acabamento da peça pode ser bastante prejudicado.

O segundo tipo não funciona linearmente, com a curva de tensão/frequência pré-fixada: esses parâmetros são variados de forma a otimizar o torque para qualquer condição de rotação. A importância do inversor vetorial é comprovada na dificuldade de atingir um bom torque em baixas rotações, problema causado pelo próprio rendimento do motor CA. Possui um elevado grau de precisão e, por isso, seu custo é maior.

CAPÍTULO 4

AZIPOD®

Criado na década de 90 pelo Grupo ABB, o Azipod® também é uma modalidade de propulsão em corrente alternada. Entretanto, por ser um sistema mais moderno, específico e que possui diversas particularidades, é tratado em um capítulo separadamente.

O sistema consiste em um MEP no próprio POD (ou seja, fora do casco) e um hélice de passo fixo diretamente ligado ao motor. O conjunto realiza movimentos azimutais e geralmente é encontrado na proa e em uma parte mais baixa do casco, onde há um fluxo menos turbulento de água. Ele pode gerar torque em qualquer direção, por causa da possibilidade de girar em torno do seu próprio eixo. Além disso, permite que as embarcações se movimentem tanto a ré quanto avante de forma igualmente eficiente. A faixa de potência que o Azipod® trabalha é de 5 a 30 MW, dependendo da RPM selecionada.



Figura 8



Figura 9

As vantagens do seu uso são diversas como:

- a) Aumento de manobrabilidade;
- b) Desempenho hidrodinâmico melhor;
- c) Projeto de casco mais simples;
- d) Dispensa longos eixos, caixas redutoras e sistema de governo;

- e) Menor nível de ruídos e vibrações;
- f) Melhor aproveitamento do espaço do navio (menor quantidade de máquinas permite deixar maior área para carga);
- g) Maiores redundância e segurança;
- h) Menores consumo de combustível, custo de manutenção e emissão de gases.

A energia elétrica para o MEP do Azipod® é conduzida por anéis deslizantes, os quais permitem o movimento em 360°. O uso de hélices de passo fixo exige a aplicação de inversores de frequência, que permitem a variação da velocidade e o controle da direção dos motores de propulsão.

Podem ser encontrados no mercado alguns arranjos diferentes do sistema acima exposto como: o simples, onde somente um POD é empregado; o duplo, também conhecido como X-tail, que redireciona o fluxo e diminui o efeito espiral da água, o CRP Azipod® e o Compacto.

O CRP Azipod® (*Contra-Rotating Propeller*) consta em um propulsor Azipod® frente a um hélice fixo, ambos alinhados de forma concêntrica (mas sem ligação física), cada qual girando em um sentido. O propósito desse layout é aumentar a eficiência hidrodinâmica da propulsão. O diâmetro do propulsor Azipod® é menor (para prevenir cavitação no hélice principal) e sua velocidade é maior (garante máxima eficiência), além do número de pás serem diferentes entre eles (evita ressonância). O sistema permite ajuste na distribuição das cargas entre os dois propulsores e o Azipod® pode girar 100° ou 360°, dependendo do arranjo implantado.



Figura 10

Além dos já citados, também é encontrado no mercado o modelo compacto do Azipod®. Seu diferencial é seu tamanho reduzido, possibilitado pelo sistema de resfriamento direto por água salgada e a ausência de circuito excitador (utilizam ímãs permanentes). O fato de ser produzido em módulos fáceis de serem ligados uns aos outros e de ser menor permite agilizar a entrega pelo fabricante, montagem mais rápida e uma considerável diminuição de custos.

A eficiência hidrodinâmica do sistema acima pode alcançar uma vantagem de 15% nos arranjos Azipod® com dois eixos e de 20% nos CRP Azipod® em relação aos modelos convencionais de propulsão. Um dos fatores determinantes para a eficiência é a localização dos PODs, os quais não devem ficar expostos além dos planos de costado e devem ficar o mais a ré possível.

4.1 AS UNIDADES DO AZIPOD®

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)

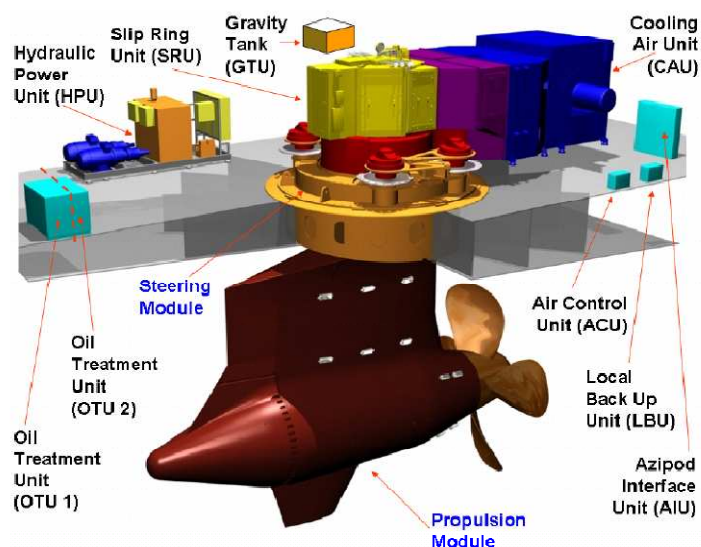


Figura 11

4.1.1 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.

4.1.2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO

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.

4.1.3 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.

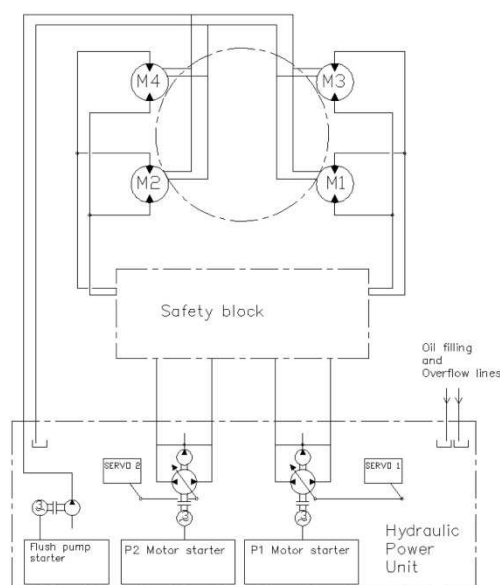


Figura 12

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.

4.1.4 SISTEMA DE SELAGEM

O sistema de selagem é constituído de duas partes: a do eixo de giro azimuthal 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.

4.1.5 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

O sistema de lubrificação propicia o perfeito funcionamento dos mancais do eixo azimuthal e os de escora e sustentação do propulsor. O mancal do eixo azimuthal 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.

4.1.6 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.

4.2 NAVIOS DE DUPLA AÇÃO

O fato de o sistema Azipod® permitir que os navios trabalhem igualmente bem nas duas direções permitiu a criação de um novo tipo de embarcação chamado navio de dupla ação (doubleactingship – DAS), que nada mais é que um navio de carga, quando navegando num sentido, e um quebra-gelo quando em outro.

Essa novidade (junto com a “ajuda” do aquecimento global) viabilizou comércio entre a América do Norte, Europa e Ásia por meio da Rota do Mar do Norte, a qual é coberta de gelo espesso a maior parte do ano. Anteriormente, essa rota só poderia ser usada pelos navios quando estes partiam em comboio com a ajuda de quebra-gelos à frente. Em média, os navios russos que partiam do Ártico precisavam de 60 a 65 dias para alcançar o Sudeste Asiático; atualmente, com o novo recurso, seus objetivos são atingidos em 19 ou 20 dias.

A tecnologia criada pela AkerArctic Technology juntou dois conceitos diferentes em um só navio: primeiro a propulsão elétrica, que possibilita o giro em 360° e torque em quaisquer direções, e, segundo, um casco resistente característico de um quebra-gelo, que é reforçado e em formato apropriado para desobstrução do caminho. A propulsão elétrica fornece a potência necessária para romper 1,5 metro de gelo pesado à velocidade de 1 a 2 nós. O navio de dupla ação ainda conta com o sistema Azipod® que, com seus equipamentos fora do casco, disponibiliza mais espaço para cargas.

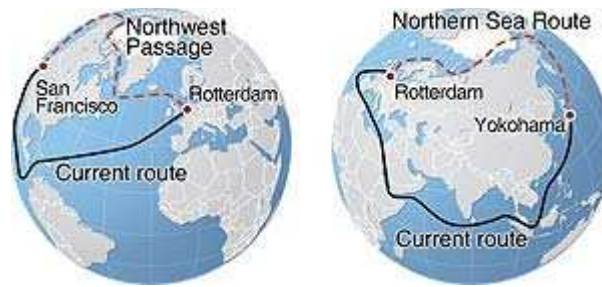


Figura 13

4.3 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DINÂMICO (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.

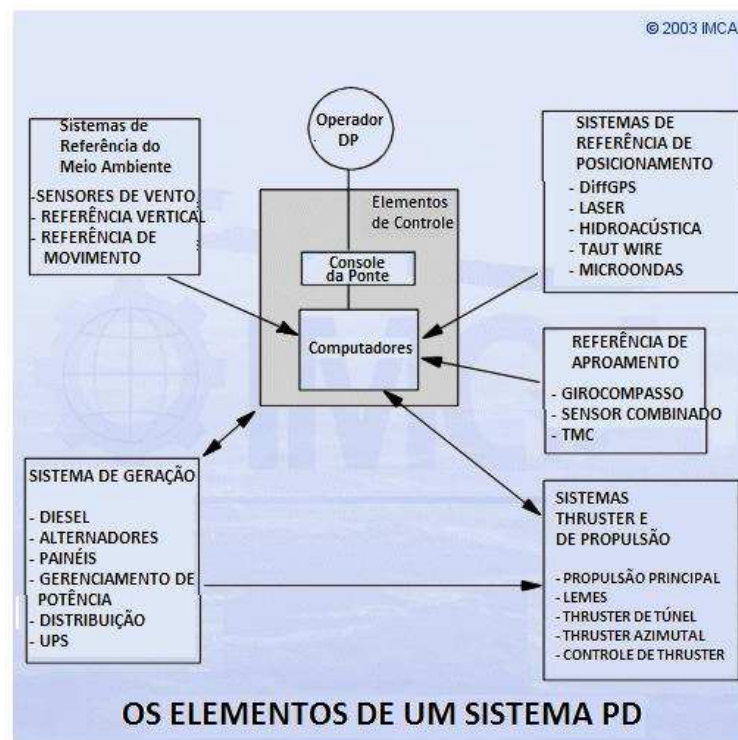


Figura 14

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, agulhagiroscópica, 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.

A confiabilidade de um sistema DP é determinada de acordo com a consequência da perda da capacidade de manter a posição ou trajetória. Quanto pior a consequência, mais exato ele deve ser. De acordo com o grau de confiabilidade, os sistemas DP foram divididos pela IMO nas classes 1, 2 e 3. A diferença entre elas é basicamente o nível de redundância dos componentes do sistema. O de classe 1 não possui redundância e, por isso, uma falha em quaisquer partes do sistema pode gerar a perda de posição. O de classe 2 possui redundância tanto nos equipamentos quanto no sistema de controle, o que o impede de perder a posição com apenas uma falha. O de classe 3 é um sistema muito mais complexo pois também deve resistir ao fogo ou inundação em qualquer compartimento sem o sistema falhar.

CAPÍTULO 5

VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

A principal característica da propulsão mecânica é a simplicidade; a da elétrica, é a flexibilidade. Não apenas essas duas alternativas, mas também outros tipos de propulsão, precisam ser comparados em uma variedade de aspectos como a capacidade de redução de custos, de melhora no controle e manobrabilidade e de maximizar o uso da planta energética do navio. Para chegar à conclusão do tipo de propulsão ideal para a embarcação, deve ser levado em consideração que tipo de operação o navio vai estar submetido.

A) REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E DA EMISSÃO DE POLUENTES

Na propulsão mecânica, a velocidade do propulsor está diretamente relacionada com a do motor diesel devido ao fato de eles estarem ligados por um longo eixo. Como a operação do navio varia e a velocidade exigida para cada situação não garante que o motor estará na sua faixa de melhor rendimento, o resultado são maiores gastos de combustível e desgaste mecânico.

O uso da propulsão elétrica afasta esse problema porque permite que os diesel-geradores trabalhem na faixa de ótimo desempenho, já que os DGs não estão diretamente ligados aos hélices. Eles alimentam o quadro elétrico principal, que fornece energia para os MEPS e estes geram o movimento para os propulsores. A variação de velocidade ocorre por meio de inversores de frequência e, no caso de haver uma maior demanda de energia, mais geradores são colocados em barra. Ou seja, a propulsão elétrica elimina a relação direta entre as rotações do motor diesel e a velocidade do propulsor.

A Figura 5.1 mostra um gráfico de um motor diesel relacionando a potência, o torque e o consumo específico, mostrando que há uma faixa (no caso, de 1000 a 1500 RPM) em que há um ótimo rendimento. O fato de trabalhar nessa faixa significa um melhor aproveitamento do combustível gasto, evitando um consumo além do necessário. Ao considerar essa diferença, é evidente que é possibilitada a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, dada a menor quantidade de óleo gasto. A figura 5.2 aponta que a propulsão elétrica permite essa redução de poluentes.

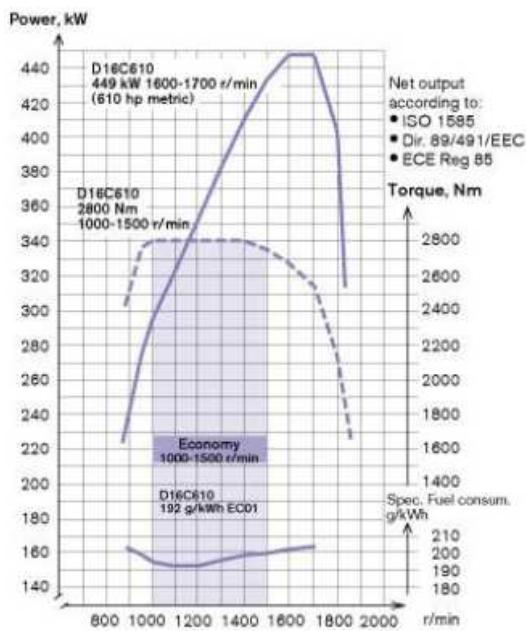


Figura 15

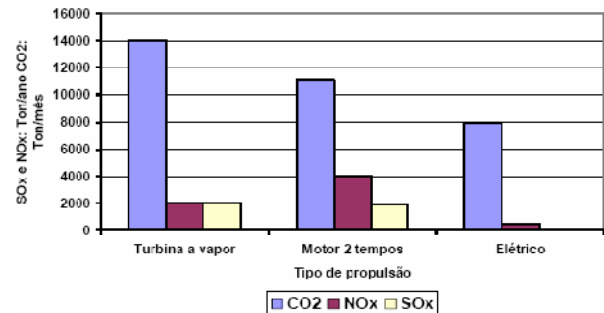


Figura 16

B) REDUÇÃO DA TRIPULAÇÃO

Os atuais sistemas mecânicos, pneumáticos e hidráulicos tendem a ser substituídos cada vez mais por elétricos, o que permite o avanço do emprego da eletrônica de potência e da automação. Por ser mais fácil de sistemas automatizados serem controlados à distância e de exigirem menos manutenção e intervenção direta do operador, abre precedentes para a diminuição da tripulação.

C) FLEXIBILIDADE DE PROJETO

Além da produção dos equipamentos de forma modular, a eliminação do longo eixo que ligava motor de propulsão ao hélice permite a distribuição dos componentes de forma a facilitar a manutenção, possibilitar a otimização do design da embarcação, a descentralização da aparelhagem e melhor uso do espaço disponível. Um dos melhores exemplos que ilustram as propriedades acima é o sistema Azipod®, que altera a estrutura do casco e, em razão de o motor elétrico encontrar-se fora de bordo, altera a disposição dos equipamentos e amplia a capacidade de carregamento.

D) REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

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.

E) REDUÇÃO DA ASSINATURA ACÚSTICA

A eliminação de longos eixos propulsores e do uso de engrenagens redutoras e as próprias características construtivas do sistema reduzem as vibrações e ruídos produzidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esta monografia podemos acompanhar a evolução da propulsão elétrica desde o seu surgimento até os mais atuais sistemas de propulsão e então podemos perceber uma tendência mundial voltada para aplicação deste sistema na área naval.

A maior atenção dada atualmente à propulsão elétrica deve-se a suas vantagens, como a baixa emissão de poluentes, visto que hoje em dia a principal preocupação tem sido com o meio ambiente, de forma a preservar melhor o nosso planeta e também o consumo dos bens não renováveis.

Comparando com a propulsão mecânica no âmbito da aplicação no apoio marítimo, a propulsão elétrica elimina problemas de alinhamento de eixo e as constantes manutenções e permite que um maior espaço da embarcação possa ser utilizado para transportar cargas. Também se mostra indispensável no posicionamento dinâmico e na retomada da navegação na Rota do Mar do Norte, facilitando a navegação em áreas com finas camadas de gelo.

Diante dos fatos apresentados, pode-se concluir que os sistemas marítimos de propulsão elétrica estarão cada vez mais no foco das empresas de navegação, tanto no cenário nacional como no internacional, ganhando cada vez mais espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

FREIRE, P., R., M., FERREIRA, C., L., 2004, **Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras**, 20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2004, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA.

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.

AZIPOD® - Disponível em <www.abb.com.br> Acessado em: 12 jul 2013

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

COCKERTON, Paul. **Polar express: Ships to sail straight across North Pole unaided within decades due to thinning ice**. Março, 2013. Disponível em: <<http://www.mirror.co.uk/news/technology-science/science/north-pole-ships-sail-straight-1742977>> Acessado em: 21 jul 2013.

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

HALL, Dennis T. **Practical Marine Electrical Knowledge**. Second Edition. Witherby & Co Ltd. London. 1999.