



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



VICTOR RODRIGUES NEVES



PROPULSÃO ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO
2013

VICTOR RODRIGUES NEVES

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): EDEN GONZALEZ **IBRAHIM**

Rio de Janeiro

2013

VICTOR RODRIGUES NEVES

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 / CLC / OSM Mestrado e Doutorado em Ciências Navais Eden Gonzalez Ibrahim

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho às grandiosas pessoas que conheci e vivi nesta passagem terráquea e ao meu grande avô Octacílio Rodrigues que antes de partir, me ensinou o que um homem precisa para viver.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família, porque sem o amor e confiança depositados em mim, desde garoto, jamais teria condições de reproduzir estes trabalhos e concluir minha formação. É claro, sem esquecer Natália, que suporta há quatro anos a mesma pessoa sem deixar de ajudar em um só instante.

RESUMO

Esse trabalho tem como ponto principal integrar ao leitor conhecimentos sobre os sistemas de propulsão elétrica, elementos que o compõem, desenvolvimento dessa tecnologia e aplicações mais frequentes nos navios.

Com esta monografia, pretende-se direcionar o leitor a utilização da propulsão elétrica, o seu desenvolvimento ao longo do tempo, seus benefícios e desvantagens e a operação deste meio de propulsão.

Por fim, serão esclarecidas as modalidades de propulsão elétrica (Corrente Contínua e Corrente Alternada), principalmente o surgimento da revolucionária tecnologia AZIPOD® e os equipamentos que viabilizam a instalação e funcionamento da propulsão diesel elétrica.

Palavras-chave: propulsão elétrica, propulsão elétrica por corrente contínua, propulsão elétrica por corrente alternada, inversores de frequência e tecnologia AZIPOD®.

ABSTRACT

This work has as main point the reader to integrate knowledge of the electric propulsion systems, elements that compose it, the development of this technology and more frequent applications in ships.

With this monograph is intended to direct the reader to the use of electric propulsion, its development over time, their benefits and disadvantages and operation of this way of propulsion.

Finally, the procedures will be clarified electric propulsion (Direct Current and Alternating Current), especially the emergence of revolutionary AZIPOD ® technology and equipment that enable the installation and operation of diesel electric propulsion.

Keywords: electric propulsion, electric propulsion by direct current, alternating current for electric propulsion, frequency converter and AZIPOD ® technology

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Navio USS *Jupiter*

Figura 2 Vista superior do arranjo de baterias

Figura 3 Navio operando com posicionamento dinâmico

Figura 4 Influência da natureza e parâmetros de análises

Figura 5 Escovas de motor elétrico CC

Figura 6 Processo de desgaste de escovas

Figura 7 Coletor danificado

Figura 8 Arranjo dos motores

Figura 9 Campanha publicitária do sistema SCHOTTEL

Figura 10 Esquema SCHOTTEL

Figura 11 Planta elétrica esquematizada

Figura 12 Circuito básico estrela-triângulo

Figura 13 Soft-Starter WEG SSW05

Figura 14 Bloco esquemático do SOFT-STARTER

Figura 15 Gráfico comparativo

Figura 16 POD de um AZIPOD®

Figura 17 Arranjo no navio

Figura 18 Esquema simplificado

Figura 19 Esquema de transformadores

Figura 20 POD e Sistema de Governo

Figura 21 Comparação de manobra

Figura 22 CRP AZIPOD®

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 INÍCIO E CRESCIMENTO DA PROPULSÃO ELÉTRICA	9
1.1 Contribuição da Guerra	10
1.2 Cenário Atual.....	11
2 PROPULSÃO ELÉTRICA DE CORRENTE CONTÍNUA	13
2.1 Manutenção dos motores	15
2.2 Considerações do Sistema	15
3 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA	16
3.1 Sistema SCHOTTEL	16
3.2 Propulsão em CA.....	18
3.3 Partida e Controle do sistema	19
3.3.1 Soft-Starter	20
4 PROPULSÃO AZIPOD®	23
4.1 Introdução.....	23
4.2 Composição do sistema	24
4.2.1 Geração de energia	25
4.2.2 ACS Propulsion Drive	26
4.2.3 Motor Elétrico	27
4.2.4 Automação e Controle do Processo.....	27
4.3 Sistema de Governo.....	28
4.4 Aplicações	29
4.4.1 CRP AZIPOD®	30
4.5 Vantagens do Sistema.....	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

INTRODUÇÃO

Desde início das civilizações, a importância e utilização de embarcações para exploração e comércio são notórias. Devido a estas necessidades sempre houve interesse no aperfeiçoamento de operacionalidade, tecnologia e custo deste meio de transporte, principalmente quanto ao elemento responsável pela movimentação da nau.

Primeiramente, seguiam-se o fluxo dos rios ou das correntes marinhas, mas não era possível alcançar os destinos deste modo. Começando com os remos a embarcação tornou-se mais independente do que no modal anterior, viabilizando a movimentação. Porém, a fonte energética para a realização das derrotas era o vigor dos tripulantes. Fator que contribuiu para a inserção de velas.

Através de velas, foi possível alcançar rotas e continentes “impossíveis”, entretanto número elevado de tripulantes para manobrar o sistema estava saturado. Com o advento da máquina a vapor e manipulação do ferro, símbolos da primeira fase da revolução industrial, as velas ficaram fadadas ao desuso nas aplicações comerciais marítimas.

A máquina alternativa a vapor sofreu com a segunda fase da revolução que a impulsionou. Turbinas a vapor possuíam manutenção simples, alta potência e simplicidade de operação. Os problemas desse tipo de propulsão se deviam às caldeiras e ao elevado consumo de combustível. Todavia, o motor inventado por Rudolf Diesel no início século XX, que funcionava com óleo de amendoim, foi desenvolvido e passou a consumir derivado de petróleo. Após a crise do petróleo na década de 70, ganhou espaço no universo naval.

Presente na maior parte das embarcações mercantes de grande porte como meio de propulsão do cenário atual, o Motor de Combustão Interna, já apresenta sinais de limitação depois da evolução da propulsão elétrica.

Principalmente após o surgimento da tecnologia AZIPOD®, que é muito utilizada em Embarcações de Apoio Marítimo e Navios Cruzeiros, a opção de aplicar motores elétricos de propulsão tem se mostrado confiável e flexível nas dificuldades de manobras e velocidades.

CAPÍTULO 1

INÍCIO E CRESCIMENTO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Mesmo quando as máquinas alternativas a vapor eram absolutas no mercado naval, e os Motores de Combustão Interna confiáveis, a primeira aplicação com propulsão elétrica ocorreu na primavera de 1903, no navio russo Vandal, da empresa *Nobel Petroleum Company*. A embarcação utilizava geradores de corrente contínua com 87 KW e 500 V conectados eletricamente aos motores elétricos de propulsão. Cada motor consumia 75 KW para girar seu eixo, tinha velocidade de 250 RPM e alcançava até 8 nós. O sistema era composto por três pares de geradores CC – motor elétrico. Esse sistema chamado diesel-elétrico foi criticado pelos cerca de 20% de energia perdida, em contrapartida levava impressionantes 8 a 10 segundos para mudar da velocidade *Full Ahead* para *Full Reverse*.

Outra embarcação que contribuiu foi um navio da marinha americana: *USS Jupiter*. Nesse navio foram instalados motores elétricos, de maneira experimental, 4,1 MW de potência no eixo. O sistema consistia em dois motores de corrente alternada com rotor bobinado e um turbo gerador para alimentá-los. O grande sucesso da experiência fez com que fosse convertido em navio-aeródromo, chamado *USS Langley* e assim impulsionando a construção de mais 50 embarcações com o mesmo sistema de movimentação sobre águas.

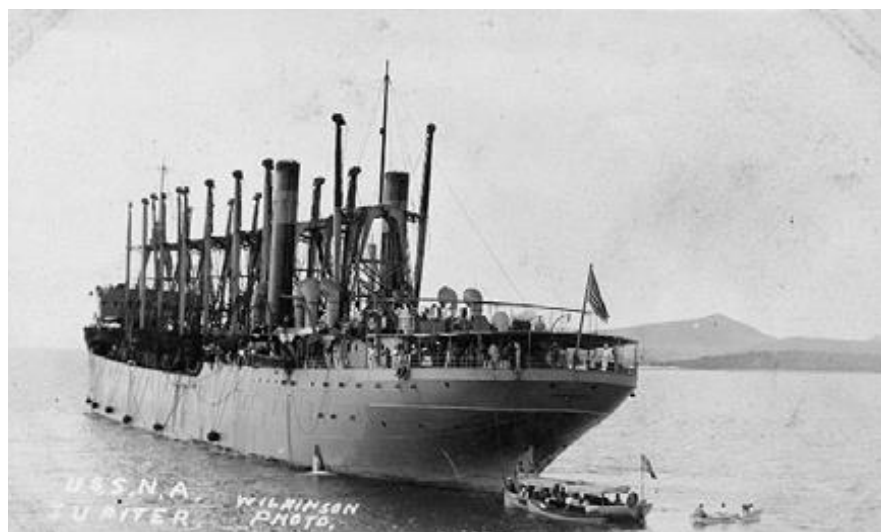


Figura 1 – Navio *USS Jupiter*

1.1 Contribuição da Guerra

No Cenário bélico naval foi onde ocorreu a grande expansão dos sistemas elétricos de propulsão, com o advento dos navios submersos, chamados submarinos. Pois era interessante ficar oculto ao “inimigo”, ou seja, navegar submerso. Contudo, deparou-se com um problema para propelar esses artefatos, porque não havia oxigênio de quantidade suficiente para fornecer às máquinas e à tripulação. Só poderiam acionar esses equipamentos com o uso do *SNORQUEL* (se o submarino estivesse a poucos metros da superfície).

Então, o uso de MEP tornou-se inevitável mediante as condições de operação. Porém eram alimentados por exorbitantes grupos de baterias as quais ocupavam espaço excessivo no submarino.

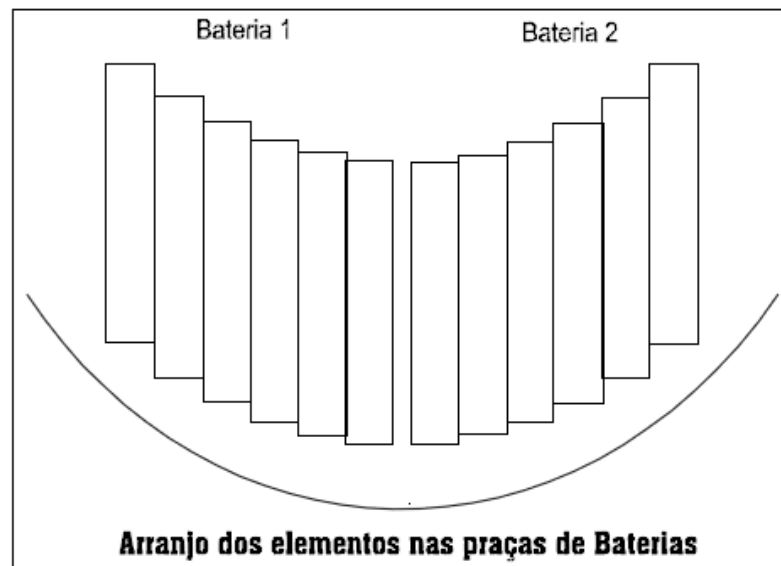


Figura 2 - Vista superior do arranjo de baterias

O elevado número de baterias empregados (440 nos modernos e 504 nos mais antigos) nos submarinos alavancou estudos para novas células de energia e utilização nuclear, sendo que a última, dispensava o uso da propulsão elétrica

1.2 CENÁRIO ATUAL

Com a crise do petróleo, que ocorreu na década de 70, o cenário marítimo voltou-se para a prospecção de petróleo no leito dos oceanos, o que deu início à indústria off-shore, com plataformas muito distantes de terra, necessitando de envio de suprimentos, reboque e soluções de logística. A solução para esse problema foi a criação de Embarcações de Apoio Marítimo (EAM).

Por meio desses navios são realizadas as tarefas carentes no sistema. Assim, como surgiu uma nova modalidade de embarcação, a tecnologia também acompanhou os requisitos. Necessitando permanecer próxima das plataformas por um longo período de tempo, tendo que suportar obstáculos da natureza, para manter-se em uma posição precisa e próxima da plataforma. Então, foi preciso criar diversas soluções para resolver os problemas enfrentados pelas EAM.

Entre as soluções está o surgimento do Posicionamento Dinâmico (DP), o qual se constitui de um processador digital que recebe informações de uma referência, como Sistema Global de Posicionamento (GPS) ou outra referência na plataforma e ainda, informações de agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação de apoio marítimo. Logo, o posicionamento dinâmico aciona as máquinas do navio para manter a EAM em uma posição relativa à plataforma, com margem de erro de aproximadamente cinco metros, porém hoje, os receptores com correção *Differential Geographic Positioning System* (DGPS) chegam a uma precisão de um ou dois metros em âmbito mundial.



Figura 3 - Navio operando com Posicionamento Dinâmico

Podemos observar os parâmetros e instrumentos de medição pelo qual o Posicionamento Dinâmico opera.

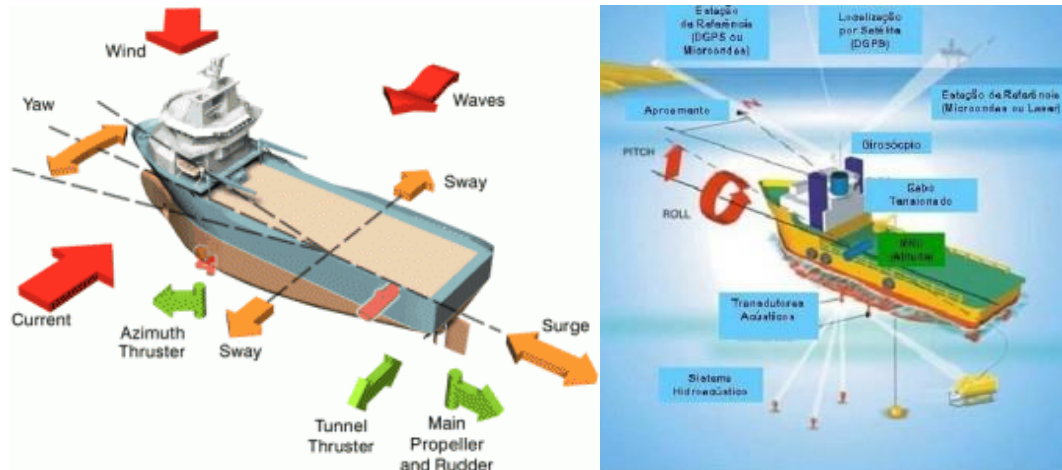


Figura 4 - Influência da natureza e parâmetros de análise

Este moderno sistema tem total influência na propulsão elétrica, apesar de, propriamente, não propelir a embarcação. A utilização desses motores se assemelha aos mais modernos métodos de propulsão. Incluindo embarcações de grande porte, como por exemplo, os navios transatlânticos, que necessitam deste modal para melhor capacidade de manobra.

CAPÍTULO 2

PROPULSÃO ELÉTRICA DE CORRENTE CONTÍNUA

Os primeiros navios com propulsão elétrica em CC surgiram no início do século XX, rebocadores de alto mar que, na maioria, eram destinados ao socorro e salvamento e formaram base para a tecnologia das EAMs. A propulsão a motor possui uma série de desvantagens para as EAM. Em altas rotações, MCPs tendem a ter um consumo de combustível elevado, além de o motor sofrer com carbonização já que não há tempo para realização da combustão adequada. Assim o combustível não é queimado por completo. Em rotações baixas, em torno de 5 nós, o MCP não alcança a rotação inicial de trabalho, e ainda sofre com variações de carga. A solução para as manobras 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. Após o consumo da carga das ampolas, muitas embarcações precisavam ficar sem manobrar enquanto seus compressores se recarregavam.

O sistema de propulsão elétrica em CC também possui vários problemas, descritos a seguir, mas mesmo assim era adotado como solução para as operações das EAM que visavam além de tudo, altíssima manobrabilidade.

O MEP do sistema de propulsão elétrica em CC era do tipo série universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas. Devido ao grande tempo de utilização e às variações constantes de corrente, ocorria o desgaste desses elementos, necessitando de manutenção e reparo contínuos.



Figura 5 - Escova de motor elétrico CC

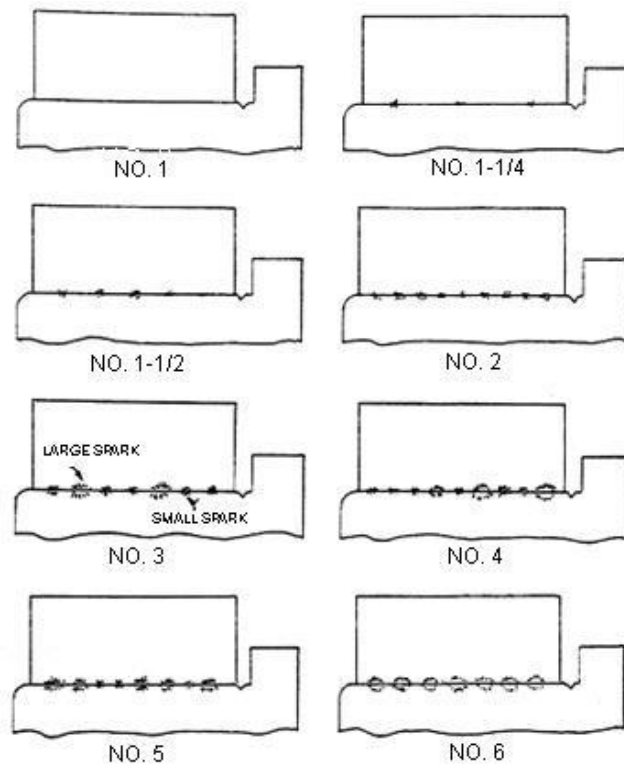


Figura 6 - Processo de desgaste das escovas

Outro problema apresentado por este sistema era a grande quantidade de calor nos diversos controles necessários para garantir a flexibilidade de manobra, controles que consistiam praticamente apenas de chaves manuais e reostatos e, justamente, por conta das escovas desgastadas, gerando centelhas, sendo imperativo o uso de equipamentos de dissipação de calor, e fazendo impossível o enclausuramento dos mesmos como podemos fazer com os modernos motores de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo.



Figura 7 - Coletor danificado

2.1 Manutenção dos motores

Com materiais não abrasivos e não condutores é feita a limpeza dos coletores. A limpeza do isolante no espaço entre as teclas deve ser feita com cuidado para não destruir o material que isola uma tecla da outra. Em alguns casos é feita uma deposição de liga de níquel recobrando as teclas.

Na manutenção as escovas podem ser trocadas ou não, dependendo do gasto. Pode ser eficiente regularizar a superfície da escova, se ainda restar uma dimensão de escova suficiente em proximidade para a que mola (spring) tenha tensão suficiente para manter a escova em contato com o coletor. Essa tensão da mola só poderá ser verificada pela prática ou por aparelhos especiais.

2.2 Considerações do sistema

Mesmo com as dificuldades apresentadas, naquela época a CC era considerada excelente opção para realização de manobra, porque tinha a possibilidade de ajustar gradualmente a velocidade da embarcação, RPM por RPM, assim, aproximava-se ou afastava-se do ponto desejado, evitando choques com o alvo. Esse método usava como controle reostatos que variavam a excitação do campo, manualmente com a redução de resistências. Apesar da boa solução, o sistema era limitado pelos avanços da Eletrônica de potência. Os SCRs compunham o arranjo junto aos geradores de alta potência (para aquela época).

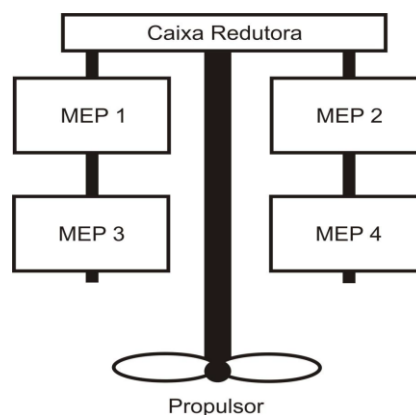


Figura 8 - Arranjo dos motores

CAPÍTULO 3

PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA

3.1 Sistema SCHOTTEL

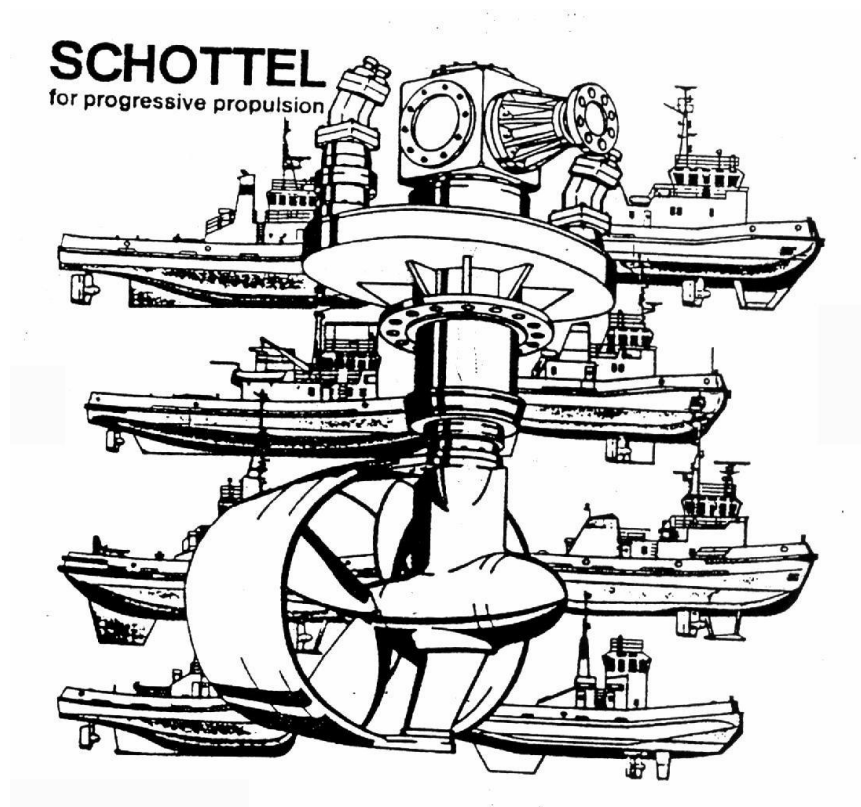


Figura 9 – Campanha publicitária do sistema SCHOTTEL

No período incômodo da crise do petróleo e o fechamento do Canal de Suez, década de 70, houve a necessidade de EAMs com mais capacidade de manobra para atender os navios-taques envolvidos com grande capacidade de carga que levavam o petróleo do Oriente Médio até portos europeus e japoneses. Logo, a resposta tecnológica foi o sistema SCHOTTEL.

Esse importante conceito da propulsão naval deve anteceder qualquer ideia de propulsão CA, porque introduziu o sistema POD. Este sistema dispensa o leme, ou seja, o governo utiliza diferente método: o propulsor gira em torno do POD. Tal movimento se denomina movimentação em azimute (girar em plano horizontal) e abaixo, na Figura 10, podemos observar a esquematização do motor MCP em relação ao eixo vertical, o sistema de força e a transmissão.

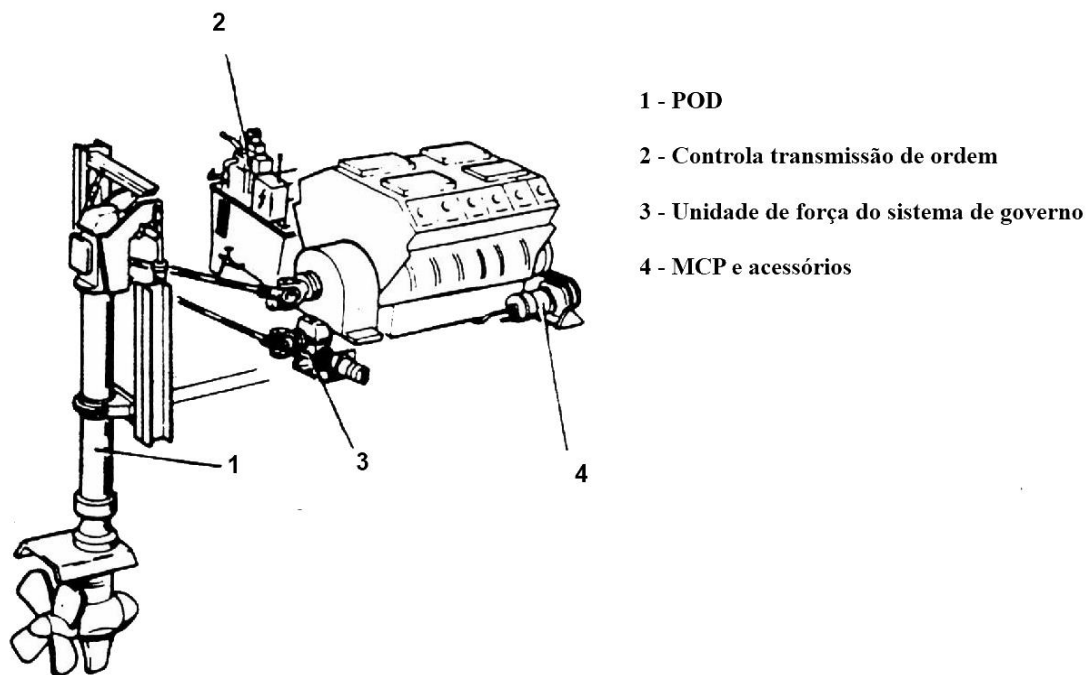


Figura 10 - Esquema SCHOTTEL

O sistema SCHOTTEL se apresenta como uma solução para a capacidade de manobra e falta de espaço na popa, mas ao mesmo tempo possui fatores negativos, como a necessidade de eixos propulsores extensos devido a localização do MCP na proa e os propulsores na popa, no caso das EAM, mas continua sendo aplicável no caso dos rebocadores tratores, que possuem hélices localizados na popa, onde a pequena distancia MCP – Propulsor não constitui problema.

3.2 – PROPULSÃO EM CA

Diante a problemática década, foi criado um sistema onde era possível eliminar o eixo que interligava o MCP e o hélice. Esta solução denomina-se propulsão elétrica. Este tipo de propulsão consiste em quatro a seis motores de combustão principal que acionam um mesmo numero de geradores de energia principais (GEPs). Eles são diretamente conectados a um quadro elétrico principal (QEP) e desde esse quadro a energia é distribuída para os consumidores do navio e para o quadro de manobra dos Motores Elétricos Principais (MEPs) assim, substituindo o eixo que interliga hélice e MCP. 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.

A figura 10 contém o arranjo dos geradores acoplados aos motores de combustão e o cabeamento indicativo do sistema destinado aos utilizadores e MEPs. Justificando a economia de espaço obtida neste modal.

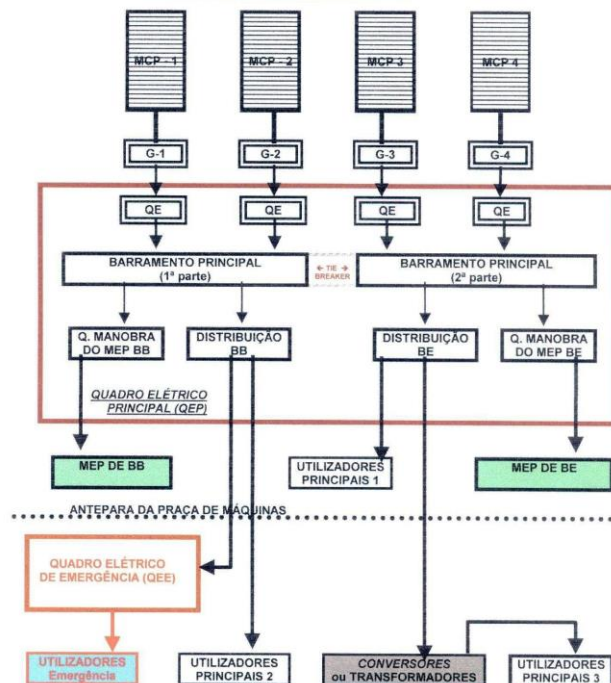


Figura 11 - Planta elétrica esquematizada

Na Convenção SOLAS, é mencionada a obrigação das embarcações com propulsão elétrica ter no barramento do QEP uma chave seccionadora (Tie breaker), 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 acionado por meio da automação, em caso de necessidade energética. Ou seja, a automação atua sobre o motor diesel, 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 Partida e Controle do sistema

Os MEP nesse tipo de embarcação são motores de indução em corrente alternada, onde a velocidade desejada é alcançada usando-se de inúmeros artifícios, isoladamente ou em conjunto de acordo com a necessidade. Atualmente usam-se modernos circuitos eletrônicos para a obtenção das velocidades necessárias.

A corrente de partida nesse tipo de motor, quando feita de forma direta, pode alcançar de quatro a doze vezes o valor da corrente nominal. A vantagem de se utilizar a partida direta é a simplicidade, pois consiste de uma ligação direta dos enrolamentos do estator do motor entre as fases. Esta alta corrente nesse tipo de partida obriga o projetista do sistema elétrico a superdimensioná-lo de forma a garantir que não ocorram danos durante a partida. Muitas vezes o motor alcança altos valores de pico de corrente que acabam provocando quedas de tensão na rede e ainda se for mal dimensionado, o equipamento sofre defeito e ameaça a segurança do operador.

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.

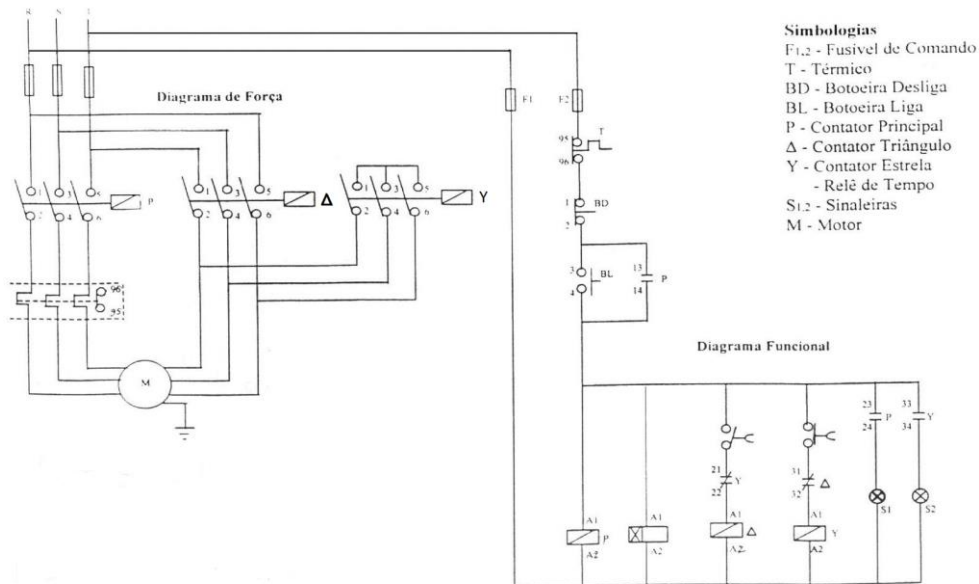


Figura 12 – Circuito básico estrela-triângulo

3.3.1 Soft-Starter



Figura 13 - Soft-Starter WEG SSW05

Por último se tem o que há de mais moderno em termos de aplicação, o SOFT-STARTER. Este equipamento consiste em uma composição de bloco eletrônico de controle atuante na região de força. Pares de SCR ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor, permitem que a partida do motor seja controlada eletronicamente de modo que a tensão aplicada é gradativamente e suavemente variada até atingir a tensão de trabalho, conseguindo assim com que a corrente de partida seja próxima a corrente nominal.

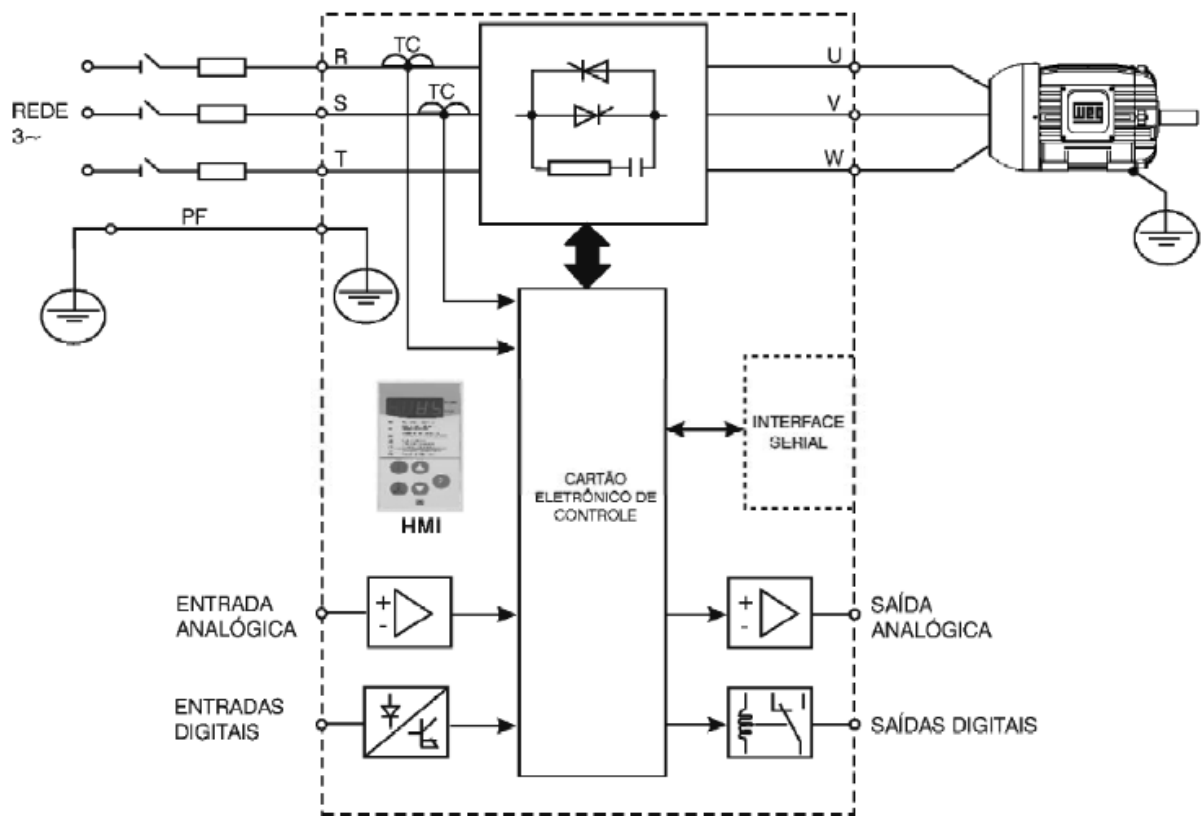


Figura 14 - Bloco esquemático do SOFT-STARTER

Em uma comparação entre os métodos apresentados, observemos na Figura 14 o gráfico Corrente X Tempo. É possível concluir que a utilização do SOFT-STARTER supera as mais antigas.

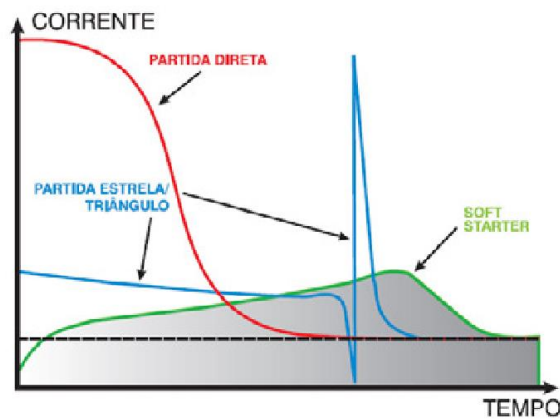


Figura 15 - Gráfico comparativo

Neste mesmo dispositivo, pode-se aumentar o campo automatizado utilizando a porta serial para conectá-la a computadores e outros sistemas, recebendo e enviando informações de operação e parâmetros, além de interagir com a Interface Homem Máquina (HMI).

Em contra partida esta chave de controle apresenta alto custo nas instalações e dificuldades com instalações cada vez mais potentes. E, ainda, apresenta limitação. E para instalações mais completas, que se deseja operar com altos valores nominais de corrente e variar velocidade.

CAPÍTULO 4

PROPULSÃO AZIPOD®

4.1 Introdução

Na década de 90 ocorreu uma grande revolução na propulsão elétrica marítima, com o desenvolvimento da eletrônica de potência e dos motores com ímãs permanentes, o que permitiu a colocação do MEP no POD. Com o motor mergulhado em água foi possível desenvolver um grau de liberdade horizontal e a rotação do eixo vertical em quase 360°. Tal sistema foi denominado pela precursora da invenção, *Asea Brown Boveri (ABB)*, *Azimuthing Podded Drive (AZIPOD®)*. Constituído de um motor pré-fabricado e inserido num POD, e posteriormente conectados aos sistemas elétricos, assim economizando espaço e partes móveis. Substituindo leme e *thruster* de ré. Este sistema é mais eficiente, menos poluente e permite alta manobrabilidade as EAMs e as outras embarcações.

Diferente dos outros sistemas azimutais onde o MEP estava dentro no navio e a transmissão era feita através de eixos, o AZIPOD® possui o MEP no próprio POD e o hélice é assim ligado diretamente ao eixo do motor. Dispensando o uso do eixo tradicional é possível instalar o propulsor mais abaixo do casco do que o normal, alcançando assim um fluxo de água menos turbulento, proporcionando melhor desempenho hidrodinâmico e eficiência mecânica.

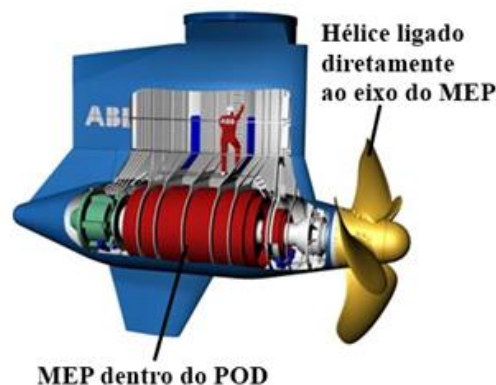


Figura 16 - POD de um AZIPOD

4.2 Composição do Sistema

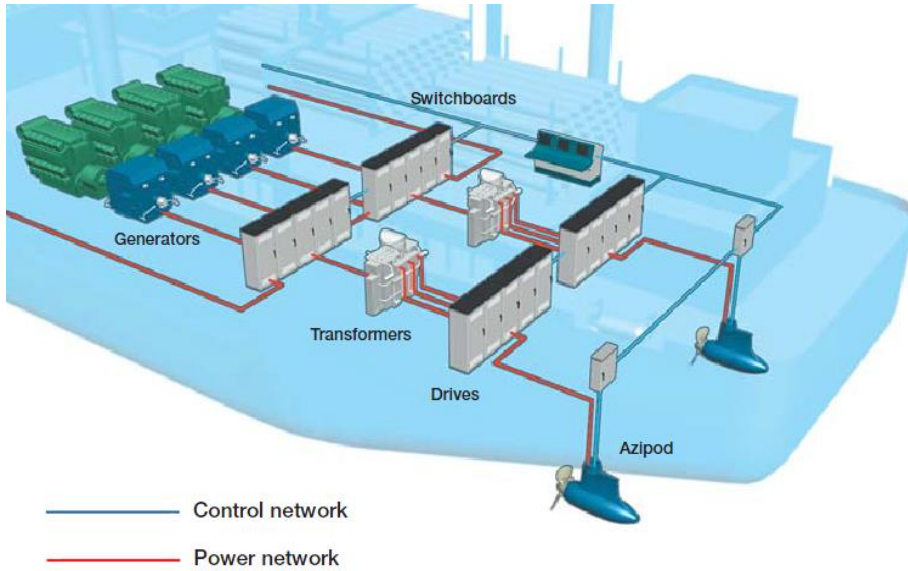


Figura 17 - Arranjo no Navio

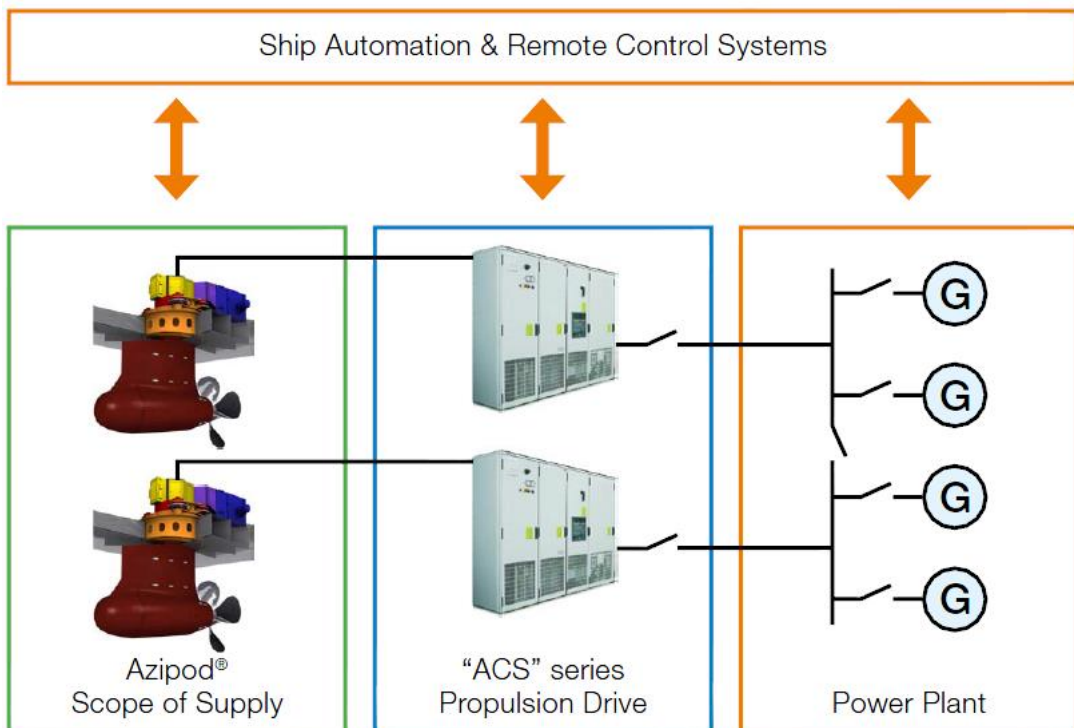


Figura 18 - Esquema simplificado

A propulsão AZIPOD® é um sistema de alta potência, atingindo cerca de 30 MW, o que fornece uma excelente capacidade de manobra e com excelente torque, em qualquer

direção, permitindo giros em torno de seu eixo e uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice.

O sistema AZIPOD® consiste das unidades de propulsão, dos “ACS Series Marine Drive”, dos transformadores, dos sistemas de controle e os de energia. Os hélices da propulsão AZIPOD® são montados com passo fixo, porque o controle do torque e da rotação é feito através do inversor de frequência PWM ou por DTC. A instalação mais comum do sistema AZIPOD® compreende hélices com pás monobloco, para puxar com mais eficiência. O projeto também pode ser montado com hélices do tipo de empurrar e hélices com “nozzle”, que é normalmente utilizada em embarcações que necessitem de uma grande capacidade de atração a velocidade zero (bollard pull). Os hélices são forjados em bronze para embarcações comuns e em aço inox para embarcações quebra-gelo.

Para obter melhor eficiência os hélices são projetados especificamente para 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.

4.2.1 Geração de energia

. Com, normalmente, quatro grupos geradores e quadros elétricos, são supridas as demandas energéticas dos consumidores e do próprio sistema. No caso do MEP, possui um barramento diferencial e exclusivo. Pois, entre a geração e o barramento existem transformadores elevadores de tensão, as quais aumentam a tensão produzida para 6,6KV, assim é direcionado para o drive e depois alimenta o motor.

Além dos transformadores fornecerem um número maior de fases (pulsos) como mostra a Figura 18, a fim de evitar distorções harmônicas na retificação e também isolam eletricamente o sistema com seu acoplamento magnético.

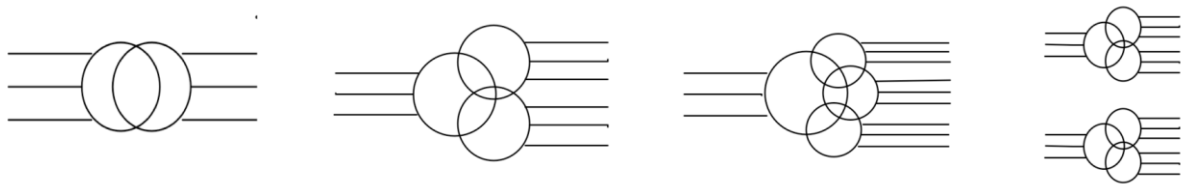


Figura 19 - Esquema de transformadores

4.2.2 – ACS Propulsion Drive

É um dispositivo inversor de frequência utilizado e desenvolvido pela mesma empresa produtora do AZIPOD®, ABB. Com o propósito de controlar a velocidade e conjugado de força (torque) de um motor elétrico através da transformação de uma frequência constante em variável.

De acordo com o avanço da eletrônica de potência, foi possível desenvolver dispositivos semicondutores com mais tecnologia. Um dos benefícios do avanço foi o Insulated Gate Commutated Thyristor (IGCT), semicondutor de potência capaz de receber algoritmos de controle que reduzem harmônicos de frequência, extremamente inconvenientes ao sistema, possuem resposta bem dinâmica e reduzem/mantêm o fator de potência.

Basicamente, o ACS é composto por módulos. São eles: Unidade Retificadora, Unidade de Controle, Unidade Inversora, Unidade de Banco de Capacitores e Unidade de Resfriamento. A tensão vinda do barramento é retificada na primeira Unidade, sofre alteração na frequência através das Unidades de Controle e Inversão (contém os IGCTs) e, para suavizar a ondulação, passa pelo Banco de Capacitores. Utilizando água deionizada, o sistema de resfriamento percorre um circuito fechado para proporcionar temperatura ótima de operação aos componentes do Drive.

O Processo sofrido pela corrente elétrica produz na saída o método de controle necessário à operação do MEP. Alguns modelos desse fabricante utilizam o Pulse Width Modulation (PWM), porém existe um método mais moderno conhecido como Controle Direto de Conjugado, em inglês, Direct Torque Control (DTC). Um processador de alto desempenho

atualiza os dados a cada 25 ms, recebe e os compara com valores de referência. O que permite menores perdas absolutas, já que só chaveia o semicondutor somente quando necessário.

4.2.3 Motor Elétrico

Tratando-se de Motor Elétrico de Propulsão, dispositivo que transforma energia elétrica em mecânica, podemos ter três tipos diferentes de acordo com a aplicação. Motor Síncrono, Assíncrono e de Imã Permanente.

Os Motores Síncronos são os mais usados por causa da eficiência em altas demandas de potência. É chamado de síncrono porque a máquina possui rotação igual ao campo de oscilação que o induz. Ele precisa, para funcionar corretamente, de um excitador. O que torna a construção complicada. O excitador recebe corrente de um sistema composto por inversor e transformador de excitação.

Os motores assíncronos são somente utilizados em instalações de baixa potência, apesar da larga aplicação no campo industrial devido à sua robustez e à facilidade de manutenção e construção.

Nos motores de Imã Permanente, não há enrolamento, sendo assim, produz menos perdas no rotor. Apesar de recém-descobertas sobre materiais magnéticos, este modelo de motor não é viável nem disponível para altas potências.

4.2.4 Automação e Controle Remoto de Processo

Não podemos dispensar de comentários à importância da automação neste tipo de sistema. Através da comparação dos dados recebidos com os valores de referência pré-estabelecidos, o controle é feito desde o aumento de combustível para que o gerador suporte o freio magnético a variações de torque do propulsor. Participando além do resfriamento de componentes, ela é capaz de se comunicar com o sistema supervisor, proporcionando direta interação e flexibilidade de operação.

Intermediado por uma HMI, o operador é capaz de controlar os painéis de energia, abertura de válvulas inerentes aos processos, manobra de sistemas e comando de outros campos dentro do navio. Cada vez mais, por conta da evolução da automatização e controles á

distância, praças de máquinas podem ficar desguarnecidas. Nas EAM com MEP no POD, é uma tendência, a fim de reduzir tripulação.

4.3 Sistema de governo

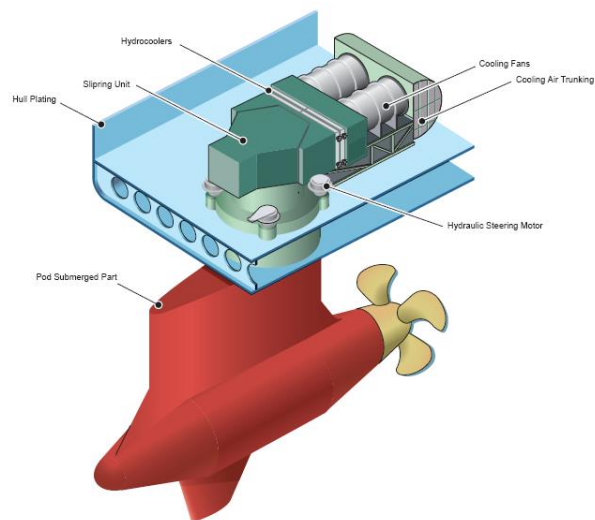


Figura 20 - POD e Sistema de Governo

Como o modal de propulsão tratado neste capítulo não possui leme, é evidente que para atender as regras da Convenção SOLAS, o AZIPOD® possui um motor hidráulico capaz de rotacionar o eixo do POD, o que compõe um sistema de governo da embarcação. Sabendo que para o acionamento dos motores hidráulicos (2 a 5 por MEP) são necessárias bombas. Com motores elétricos uma é ligada ao QEP e outra ao QEE, o sistema se assemelha aos das embarcações com leme e classificadas pela convenção.

Existe outra bomba hidráulica faz a recirculação (flushing pump). Esta bomba recircula o óleo hidráulico entre os tanques das bombas e as tampas dos motores hidráulicos, mantendo assim equilibrada a diferença de temperatura. A bomba de flushing é acionada automaticamente, sempre que uma das bombas principais entra em funcionamento. O painel do sistema de governo é instalado na CCM, com repetidoras no passadiço e no compartimento do AZIPOD®.

Como estabelece a Convenção “SOLAS”, durante a operação emprega-se apenas um conjunto motor-bomba hidráulica por HPU e por AZIPOD®, enquanto outro conjunto permanece em stand-by.

O controle remoto do Azipod® consiste de um dispositivo manual combinado para ajustar a potência, por uma alavanca que opera no sentido avante e ré para ajustá-la, e o governo, sendo essa mesma alavanca possuindo uma base giratória com liberdade de quase 360°. Além disso, existem painéis para operação e indicações do sistema.

No CCM e no passadiço existe um painel de gerenciamento do sistema de governo para cada AZIPOD®, atendendo assim a Regra 29 da Convenção SOLAS sobre controle dos sistemas de propulsão e de governo.

4.4 Aplicações

É evidente que nas embarcações dependentes de alta manobrabilidade tais como EAMs, Navios de passageiros, Rebocadores, *Ferries*, quebra gelos e em plataformas, a propulsão elétrica apresenta aspectos positivos e relevantes. Na Figura 20 é notória facilidade de manobra de uma unidade AZIPOD® em comparação com uma de leme convencional.

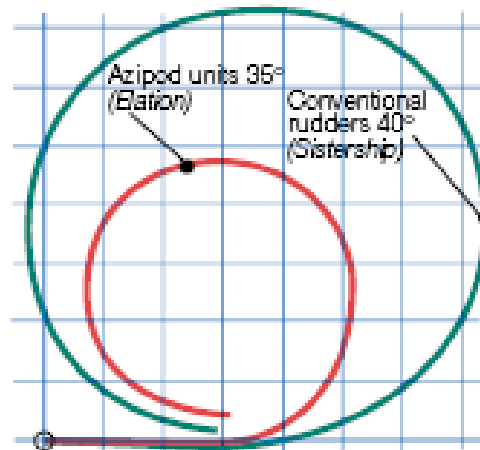


Figura 21 - Comparação de manobra

4.4.1 CRP AZIPOD®

Em 2011 a ABB, empresa responsável pelo AZIPOD®, anunciou uma parceria com a Samsung para desenvolver um conceito de sistema de propulsão para o então novo navio contêiner da própria Samsung. Ao invés de ser direcionada por um leme, a embarcação apresentou um CRP Azipod diretamente atrás do propulsor principal. Ambos alinhados de forma concêntrica e sem ligação física, cada um girando em um sentido diferente.

CRP do inglês é a abreviação de Contra Rotating Propellers. O propulsor ligado ao eixo convencional é responsável por direcionar um melhor fluxo de água de forma a fornecer mais energia para ser utilizada pelo propulsor traseiro.



Figura 22 - CRP AZIPOD®

4.5 Vantagens do Sistema

Excelentes características de manobrabilidade e desempenho hidro-dinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e offshore Elimina a necessidade de longas linhas de eixo, bem como lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens redutoras. Possibilita projetos de cascos mais simples. Combinado com uma planta de energia elétrica, a propulsão AZIPOD® proporciona melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, e, ainda, níveis reduzidos de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança e mais redundância. A flexibilidade de operação do sistema de propulsão AZIPOD® conduz ao menor consumo de combustível, pois os motores

são projetados para operar na faixa ótima de eficiência e consumo, possuindo rotação constante; custos de manutenção menores, emissões de gases reduzidas e maior redundância, tudo com menor quantidade de máquinas. Como consequência da menor quantidade de máquinas, o sistema AZIPOD[®] tem menos cilindros de motor para manter. A unidade AZIPOD[®] tem um projeto flexível. Ela pode ser construída para empurrar ou puxar, em águas livres ou em águas com gelos. A unidade pode ser equipada com hélices fora de centro, com ou sem “nozzle”. E ainda é menos poluentes em comparação com os modelos que utilizam turbina à vapor e MCI.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta monografia, foi possível acompanhar os problemas e limitações de sistemas de propulsão. Porém, com o surgimento do sistema elétrico, muitas necessidades foram supridas, entretanto o modal elétrico também se limitava em diversos aspectos tecnológicos. Alavancado pelas exigências bélicas, a então inovação galgou para usos e maneiras diferenciadas.

Muito associado ao século XX utilizar energia elétrica para propelir embarcações foi a principal maneira encontrada para solucionar problemas nas manobras de embarcação. Principalmente após a crise do petróleo, com o surgimento das Embarcações de Apoio Marítimo, a popularidade elétrica tomou tendência nesse mercado.

Com o passar dos anos, a requisição de sistemas viáveis ao meio marítimo apressava soluções tecnológicas adequadas. E, cada vez que surgia um inconveniente, nascia uma revolução inerente ao preciso. Assim, utilização do hélice no POD, associação de chaves eletromagnéticas para a planta elétrica, evolução na tecnologia de metalomecânica e principalmente, da eletrônica de potência, tornaram a propulsão elétrica em uma resposta excelente ao mercado consumidor.

Após a inserção inovadora do motor elétrico de propulsão no POD, a empresa ABB registrou a marca AZIPOD®, que no momento atual é uma das mais modernas utilizações no âmbito naval. Não sendo dispensado o campo aberto pela evolução dos semicondutores, afinal, os sistemas de controle de velocidade, alimentação e retificação estão ligados aos inversores de frequência, que é um dos componentes do Drive.

Eliminou-se linhas de eixo, equipamentos em excesso e motores maiores. Somente com geradores, facilitou a distribuição, tornando o sistema mais flexível e simplificado, pois se concentrou grande atenção à geração de energia elétrica de bordo. Menor consumo de combustível, emissão de poluentes minimizadas, conforto de operação, silencioso, com pouca vibração e menos perdas com manutenção, deixam explícitas as inúmeras vantagens proporcionadas pelo AZIPOD®.

A ABB não é a única produtora deste tipo no mercado, porque a Rolls-Royce tem um modelo chamado de MERMAID®. Ambos com princípio parecido, mas diferem na maneira de controle. Com essa concorrência, o mercado consumidor de propulsores fica mais aquecido, uma vez que o custo de instalação e construção impede e desfoca a atenção dos investidores.

Na atualidade, o modal elétrico de propulsão vem ganhando espaço graças ao turismo e às necessidades do mercado petrolífero, devido às plataformas e às embarcações de apoio. Aproveitando o momento e com expectativa do pré-sal, dificilmente a eletricidade entrará em desuso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., *An historical overview of navy electric drive*. Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment, 1999.

HUMBLE, Richard, *Undersea warfare*. Chartwell Books, 1981.

ARRINGTON, J., W., *The analysis of components, designs, and operation for electric propulsion and integrated electrical system*. Monterey, California: Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS), 1998.

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

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.

ÅDNANES, Alf Kåre. *Maritime electrical installations and diesel electronic propulsion*. ABB AS Marine, 2003.

ABB Azipod Efficiency Improved Again

<http://www.marinelink.com/news/efficiency-improved341498.aspx>

What is Azipod®?

<http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/b4c6f2757969bba6c12571f100410217.aspx>

ABB, Samsung develop new propulsion concept.

<http://www.marinelink.com/news/article/abb-samsung-develop-new-propulsion-concept/303953.aspx>

The CRP Azipod Propulsion Concept, The most economic way from crane to crane.
ABB Group.

<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/90580p007%20crp%20azipod.pdf>

Queen Mary 2 Technical

http://www.cunard.com/documents/press%20kits/queen%20mary%202/queen_mary_2_technical.pdf

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>

ABB - Azipos Selection Guide

[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/589ea2a5cd61753ec12570c9002ab1d1/\\$file/AzipodNew.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/589ea2a5cd61753ec12570c9002ab1d1/$file/AzipodNew.pdf)