

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

BRUNO MARQUIS DE AZEVEDO

PROPULSÃO ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO

2015

BRUNO MARQUIS DE AZEVEDO

PROPULSÃO ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

RIO DE JANEIRO

2015

BRUNO MARQUIS DE AZEVEDO

PROPULSÃO ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico esse trabalho aos meus pais, minha namorada e a todos meus amigos que estiveram comigo nessa difícil jornada até chegar aqui, por sempre me apoiarem e confiarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Senhor Deus, que tornou possível esta realização, aos meus pais, Marly e Juarez, ao mestre Paulo Pinto que aceitou me ajudar neste trabalho e o fez com muito êxito.

“ Ninguém pode voltar no tempo e fazer um novo começo. Mas podemos começar agora e fazer um novo fim! ”

(Bob Marley)

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo fornecer ao leitor informações úteis relacionadas ao sistema de propulsão elétrica marítima, visando abordar os sistemas e equipamentos presentes em uma instalação de propulsão elétrica típicas em embarcações mercantes. A mudança da propulsão mecânica para a propulsão elétrica é inevitável. Mas a questão principal não seria essa, e sim, o que é a propulsão elétrica em embarcações. Neste estudo será esclarecido os dois tipos de propulsão, a propulsão elétrica em corrente contínua e a alternada, principalmente pelo surgimento da tecnologia AZIPOD® e que revolucionou o mercado da propulsão elétrica em todo o mundo.

Palavras-chave: Propulsão elétrica. Propulsão elétrica por corrente contínua. Propulsão elétrica por corrente alternada. Tecnologia AZIPOD®.

ABSTRACT

This monograph aims to provide to the reader useful information related to marine Electric Propulsion System aimed at addressing the systems and equipments present in a installation of typical electric propulsion in merchant vessels. The change of mechanic propulsion for electric propulsion is inevitable. But the main question wouldn't be that but rather what is the electric propulsion in vessels. In this study will be explained the two types of propulsion, electric propulsion in direct current and alternating current, mainly because of the Azipod ® technology and revolutionized the electric propulsion market in the world.

Key words: Electric propulsion. Direct current propulsion. Alternating current propulsion. AZIPOD® technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Navio operando com Posicionamento Dinâmico	13
Figura 2 – Parâmetros onde o sistema DP opera	14
Figura 3 – Campanha publicitária do sistema SCHOTTEL	16
Figura 4 – Esquema SCHOTTEL	17
Figura 5 – Planta elétrica esquematizada	18
Figura 6 – Circuito básico estrela triângulo	21
Figura 7 – Soft-starter SW07	21
Figura 8 – Bloco esquemático do soft-starter	22
Figura 9 – Gráfico comparativo	22
Figura 10 – Inversor de frequência CFW08	24
Figura 11 – POD de um AZIPOD	25
Figura 12 – Comparação de raio manobra	27
Figura 13 – Arranjo no navio	28
Figura 14 – Esquema simplificado	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 HISTÓRIA DA PROPULSÃO ELÉTRICA	11
2.1 O uso da propulsão elétrica	12
3 TIPOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA	15
3.1 Propulsão elétrica em CC (Corrente Contínua)	15
3.2 Propulsão elétrica em CA (Corrente Alternada)	16
4 FORMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS	20
4.1 Método de partida direta	20
4.2 Método de partida estrela-triângulo	20
4.3 Método de partida soft-starter	21
4.4 Inversor de frequência	23
5 PROPULSÃO AZIPOD®	245
5.1 Principais vantagens da propulsão AZIPOD®	26
5.2 Aspectos ambientais	27
5.3 Sistemas do AZIPOD®	27
5.3.1 Sistema de resfriamento	29
5.3.2 Sistema de governo	29
5.3.3 Sistema de selagem	29
5.3.4 Sistema de lubrificação	29
5.3.5 Sistema de drenagem	29
5.3.6 Sistema de freios e travas	30
6 VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	31
6.1 Redução na emissão de poluentes	31
6.2 Aumento da vida útil do navio	31
6.3 Redução da tripulação	32
6.4 Flexibilidade do projeto	32
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos longínquos que o Homem percebeu as potencialidades do mar para o comércio mundial. Detentor de 70% da superfície terrestre o mar é a solução para o transporte de grandes quantidades de carga, de um ponto a outro, mantendo o baixo custo e rapidez.

Devido tais vantagens a necessidade de navegar cresceu e vem crescendo, juntamente com a tecnologia. No início os barcos apenas seguiam o fluxo dos rios e das correntes marinhas, porém não era possível pré-estabelecer derrotas. Os remos vieram para fazer tais embarcações mais independentes, podendo navegar em direção oposta à correnteza. Porém tal método exigia muito esforço físico dos tripulantes. Esse fator contribuiu para a inserção das velas, possibilitando que o ser humano se afastasse da costa e construísse embarcações maiores com propulsão mista, vela e remos, pois a vela quadrada só permite vento a favor. Esta limitação só foi superada com o surgimento da vela latina, que proporcionou travessias maiores.

Com o advento das máquinas a vapor as velas ficaram fadadas ao desuso nas aplicações comerciais marítimas. As primeiras máquinas a vapor acionavam uma grande roda na lateral do navio e esta atrapalhava o manuseio das velas e as fainas do navio. Este problema foi resolvido com a invenção do hélice por John Ericsson no início do século XX e então a máquina a vapor se firmou como principal meio de propulsão naval.

A partir do meio do século XX, com o aperfeiçoamento da invenção do alemão Rudolf Diesel, as máquinas a vapor passaram a ser substituídas por motores de combustão interna. Esta última ainda é a mais utilizada em todo mundo, nos automóveis, nas indústrias e nas embarcações mercantes, onde é atualmente o principal meio de propulsão das embarcações, porém já apresentou sinais de limitações depois da evolução da propulsão elétrica.

Após o surgimento da tecnologia AZIPOD[®], que é bastante utilizada em embarcações de apoio marítimo e cruzeiros, a utilização de motores elétricos como principal meio de propulsão tem se mostrado confiável e flexível nas dificuldades de manobra e velocidade.

2 HISTÓRIA DA PROPULSÃO ELÉTRICA

No início do século XX, assim como se desenvolviam os navios submersos (submarinos), fez-se necessário o desenvolvimento de um sistema que consumisse menos oxigênio do meio no qual se encontrava. A solução encontrada foi o uso de motores elétricos de corrente contínua, os quais eram supridos por um enorme grupo de baterias. A bateria, também chamada de bateria de acumuladores, é uma tecnologia muito antiga, porém até hoje elas são utilizadas porque apesar de muitas pesquisas e desenvolvimento não foi encontrado um substituto para armazenamento de energia, embora tenham melhorado o seu desempenho com a adição de novas reações químicas e pelo desenvolvimento de outros materiais. Mesmo com tais melhorias as baterias deveriam, de alguma forma, ser recarregadas. Para tal foi utilizado um sistema que usava motores de combustão interna (MCI) associado a alternadores que geravam energia, a qual era retificada para carregá-las. Quando o submarino estivesse na superfície, ou perto da mesma, o MCI era operado por meio de um “snorquel”. Depois de mergulhado o submarino funcionava totalmente através do grupo de baterias desligando os MCIs.

A propulsão elétrica, aplicada a tantas décadas no submarino, foi uma solução insubstituível para o mesmo, devido a sua necessidade de mergulho. Nos dias de hoje, sistemas baseados em motores elétricos são muito utilizados por navios mercantes e serão abordados no transcorrer deste trabalho. Tais navios que utilizam motor elétrico como meio de propulsão também tem baterias, porém são poucas e não utilizadas na propulsão, dispostas em locais altos e ventilados para melhor administrar o arejamento dos gases explosivos gerados no processo de carga. Se empregasse muitas baterias o navio mercante perderia muito espaço de carga e teria dificuldade para obter uma boa estabilidade devido ao peso muito alto.

A questão das baterias a bordo do navio mercante é melhor entendida ao se analisar as Regras do Capítulo II-I, parte D, do texto consolidado da Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1988, incorporando todas as emendas de 2014. A Convenção SOLAS apenas exige que os mercantes tenham uma fonte de energia alternativa para emergências. Por isso, o uso de baterias a bordo dos navios mercantes é limitado aos sistemas temporários destinados a manter

operando os equipamentos essenciais de navegação, iluminação, alarmes de emergência, comunicação e automação. Durante uma eventual falta de energia dos geradores de bordo, as baterias operam como um "no-break" para os sistemas de automação, dentre outros.

2.1 O uso da propulsão elétrica

No início do século XX, assim como se desenvolviam os navios submersos (submarinos), fez-se necessário o desenvolvimento de um sistema que consumisse menos oxigênio do meio no qual se encontrava. A solução encontrada foi o uso de motores elétricos de corrente contínua, os quais eram supridos por um enorme grupo de baterias. A bateria, também chamada de bateria de acumuladores, é uma tecnologia muito antiga, porém até hoje elas são utilizadas porque apesar de muitas pesquisas e desenvolvimento não foi encontrado um substituto para armazenamento de energia, embora tenham melhorado o seu desempenho com a adição de novas reações químicas e pelo desenvolvimento de outros materiais. Mesmo com tais melhorias as baterias deveriam, de alguma forma, ser recarregadas. Para tal foi utilizado um sistema que usava motores de combustão interna (MCI) associado a alternadores que geravam energia, a qual era retificada para carregá-las. Quando o submarino estivesse na superfície, ou perto da mesma, o MCI era operado por meio de um "snorquel". Depois de mergulhado o submarino funcionava totalmente através do grupo de baterias desligando os MCIs.

A propulsão elétrica, aplicada a tantas décadas no submarino, foi uma solução insubstituível para o mesmo, devido a sua necessidade de mergulho. Nos dias de hoje, sistemas baseados em motores elétricos são muito utilizados por navios mercantes e serão abordados no transcorrer deste trabalho. Tais navios que utilizam motor elétrico como meio de propulsão também tem baterias, porém são poucas e não utilizadas na propulsão, dispostas em locais altos e ventilados para melhor administrar o arejamento dos gases explosivos gerados no processo de carga. Se empregasse muitas baterias o navio mercante perderia muito espaço de carga e teria dificuldade para obter uma boa estabilidade devido ao peso muito alto.

A questão das baterias a bordo do navio mercante é melhor entendida ao se analisar as Regras do Capítulo II-I, parte D, do texto consolidado da

Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1988, incorporando todas as emendas de 2014. A Convenção SOLAS apenas exige que os mercantes tenham uma fonte de energia alternativa para emergências. Por isso, o uso de baterias a bordo dos navios mercantes é limitado aos sistemas temporários destinados a manter operando os equipamentos essenciais de navegação, iluminação, alarmes de emergência, comunicação e automação. Durante uma eventual falta de energia dos geradores de bordo, as baterias operam como um "no-break" para os sistemas de automação, dentre outros.

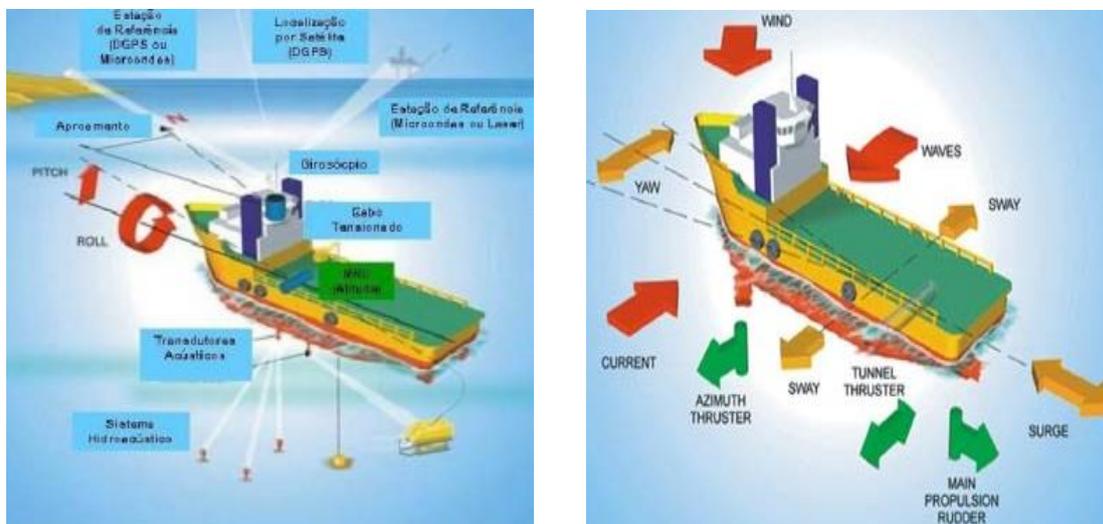
Figura 1 – Navio operando com Posicionamento Dinâmico



Fonte: www.oceânica.ufrj.br, acessado em 15/07/2015

Nas figuras abaixo podemos observar em quais parâmetros e instrumentos pelo qual o posicionamento dinâmico opera.

Figura 2 – Parâmetros onde o sistema DP opera



Fonte: www.vagooffshore.blogspot.com, acessado em 15/07/2015

Este moderno sistema é totalmente influenciado pela propulsão elétrica, mesmo que não seja utilizada para propeler a embarcação. A utilização desses motores compõe os mais modernos métodos de propulsão, incluindo embarcações de grande porte, como por exemplo, os navios transatlânticos, que necessitam deste sistema para melhor capacidade de manobra e estabilidade.

3 TIPOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

3.1 Propulsão elétrica em CC (Corrente Contínua)

Ainda hoje existem embarcações que trabalham com propulsão e instalações em corrente contínua, devido à melhor capacidade de manobra por possibilitar uma variação suave da velocidade, especialmente na partida. Essa suavidade é essencial para os rebocadores que em suas fainas evitam causar avarias no costado do navio que empurram, por evitarem o choque com muita força de encontro ao costado do navio apoiado.

Nos rebocadores com propulsão convencional, o motor de combustão principal é ligado diretamente ao eixo do hélice e possui um grande problema por não possibilitar baixas rotações, pois em baixas rotações o motor “morre”. A solução é partir o MCP e pará-lo logo em seguida. Esse procedimento é limitado pela energia acumulada nas ampolas de ar para sucessivas partidas. Quando tais ampolas não fornecem a energia suficiente para a partida do motor, a operação é paralisada para que se possa esperar o carregamento das mesmas.

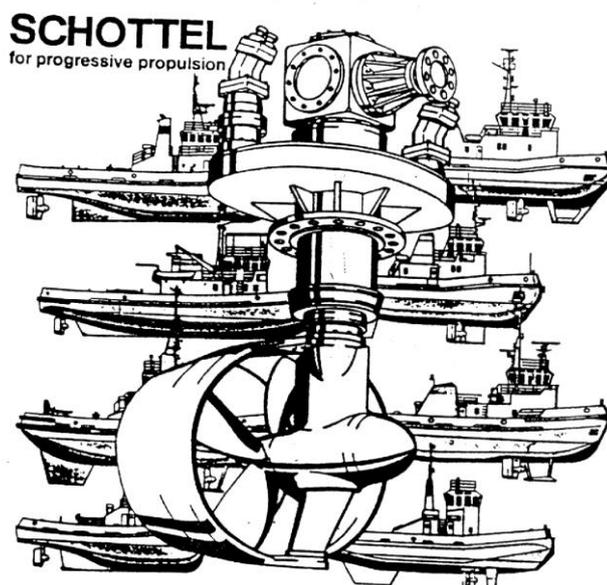
Já nos rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua os motores diesel operam continuamente, na mesma rotação, acionando o gerador elétrico principal, mesmo com o navio atracado ou fundeado. O acionamento dos hélices propulsores pelos motores elétricos principais pode ser feito lentamente, RPM por RPM, a partir do zero, ajustando o deslocamento do rebocador conforme as necessidades da faina, evitando assim choques contra os navios empurrados, ou o rompimento dos cabos de reboque. Esse sistema fez-se muito eficiente durante muitos anos, mas a propulsão elétrica em corrente contínua possui uma grande desvantagem por possuir coletor de teclas (comutador) e escovas. Devido ao atrito dessas escovas contra o coletor, o uso contínuo e as grandes variações de corrente em manobras provocam um desgaste acelerado de ambos, acarretando uma manutenção frequente, cara e complexa. 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. Esse problema se agrava muito rápido, aumentando exponencialmente as centelhas e o calor nas escovas. Se a manutenção dessas escovas não for feita quando necessária, o calor pode avariar o coletor do motor, e essas centelhas misturadas a um ambiente não controlado podem iniciar um incêndio a bordo. Uma vez que o ambiente no qual esse motor é instalado não é controlado

adequadamente, e que o desgaste das escovas gera uma grande quantidade de partículas de carbono, essas máquinas ficam muito vulneráveis à baixas resistências de isolamento nos seus campos.

3.2 Propulsão elétrica em CA (Corrente Alternada)

A partir da década de 70, o mercado para embarcações de apoio marítimo começou a evoluir, pois era necessário realizar as manobras de navios cada vez maiores em áreas cada vez mais restritas. Entre as tecnologias que visavam às melhorias deste tipo de embarcação nasceu o sistema SCHOTTEL.

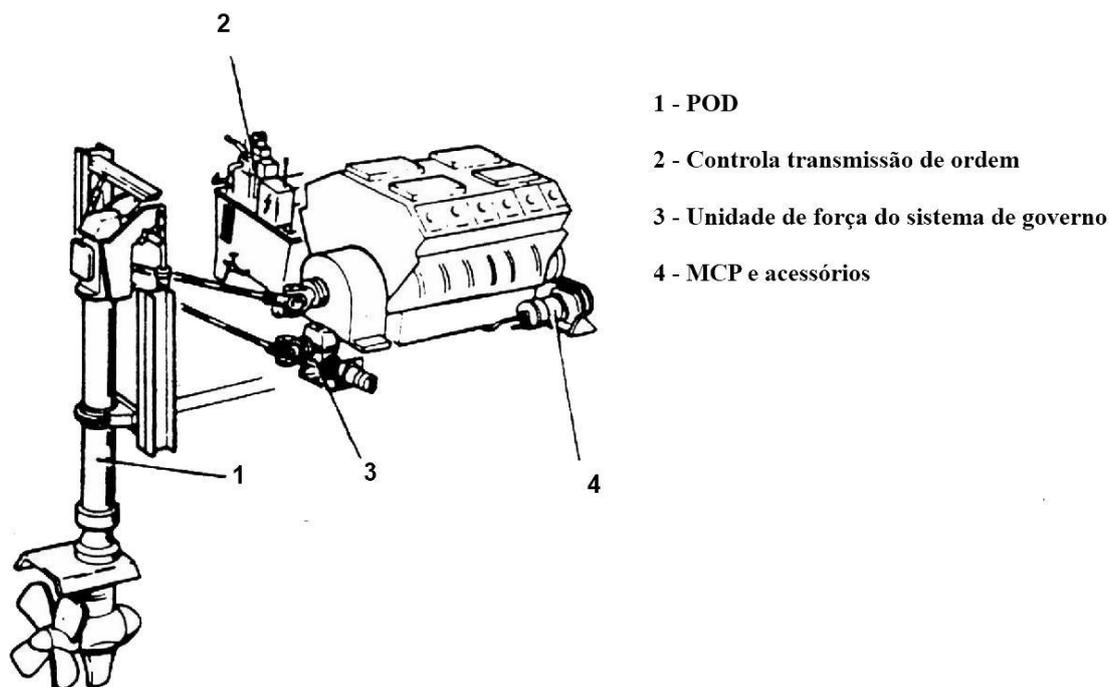
Figura 3 – Campanha publicitária do sistema SCHOTTEL



Fonte: www.schottel.de, acessado em 23/04/2015

Esse importante conceito da propulsão naval deve anteceder qualquer ideia de propulsão CA, porque introduziu o sistema POD (conjunto formado pelo propulsor e pelo sistema que o direciona em azimute). Este sistema dispensa o leme, ou seja, governo utiliza diferente método: o propulsor gira em torno do POD. Tal movimento se denomina movimentação em azimute (gírar em plano horizontal).

Figura 4 – Esquema SCHOTTEL

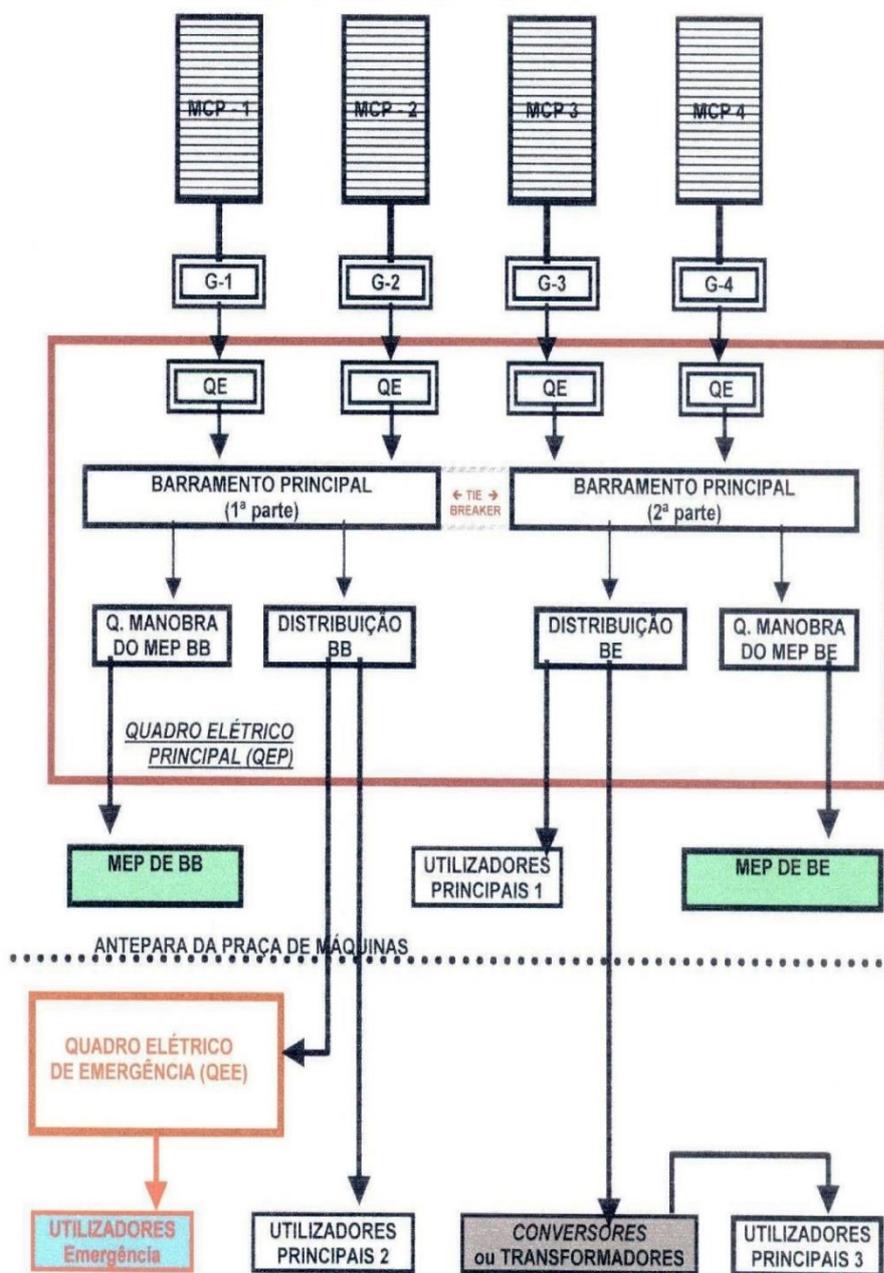


Fonte: www.schottel.de, acessado em 23/04/2015

O sistema SCHOTTEL apresenta-se como uma solução para a capacidade de manobra e falta de espaço na popa, porém necessita de eixos propulsores extensos devido à localização do MCP na proa e os propulsores na popa, no caso das embarcações de apoio marítimo, mas continua sendo aplicável no caso dos rebocadores tratores, que possuem hélices localizados na popa, parte de trás do navio, onde a pequena distância MCP.

Diante essa 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 número de Geradores de Energia Principais (GEPs). Os GEPs são ligados a um Quadro de Energia Principal (QEP) e desse quadro sai a energia para os utilizadores do navio e também para o quadro de manobra (controle) dos Motores Elétricos Principais (MEPs). Desse quadro até os MEPs o navio tem cabos elétricos no lugar dos eixos extensos. 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 há uma seção de eixo na popa.

Figura 5 – Planta elétrica esquematizada



Fonte: Apostila de propulsão elétrica do CIAGA, acessado em 12/05/2015

No caso da embarcação com propulsão elétrica o barramento do QEP é obrigado pela convenção SOLAS a ter uma chave seccionadora ("tie breaker"), à qual pode ser encontrada normalmente aberta (NO) ou normalmente fechada (NC). Embora não existam normas detalhadas na convenção SOLAS estabelecendo como deve ser a automação em todos os navios, é comum a automação do QEP supervisionar a situação da carga elétrica (demanda de energia) do navio.

A corrente alternada tem um efeito indesejável, especialmente durante as variações de carga elétrica, que são os harmônicos de frequência, que geram outros problemas. Do ponto de vista do consumo de energia, os harmônicos não trazem maiores problemas, mas, no caso dos sinais ou informações empregadas pela automação, os harmônicos são prejudiciais. Eles induzem sinais falsos nos sensores da automação, e esses por sua vez provocam reações incorretas da automação, o que provoca a instabilidade dos geradores, podendo até ocorrer o desligamento desses sistemas. As soluções elaboradas para resolver esse problema sempre incluem filtros de harmônicos (harmonic filter) e sua posição onde esses filtros são conectados pode variar, conforme o navio.

Do mesmo modo que os filtros de antenas de comunicações, os filtros no QEP buscam eliminar as indesejáveis frequências harmônicas, múltiplas de 60 Hz, e deixar passar apenas o valor puro. Tal filtragem é feita com circuitos “LC” (L – cargas indutivas; C – cargas capacitivas).

4 FORMAS DE PARTIDA DOS MOTORES ELÉTRICOS

Os sistemas elétricos de propulsão de navios mercantes dos dias de hoje são diversos, e cada um com sua particularidade. Um dos detalhes mais importantes desses sistemas são os sistemas de partida desses motores. Existem quatro formas de partida comumente encontradas nos navios: o sistema direto, estrela-triângulo, o “soft-starter” e o inversor de frequência. Os sistemas mais encontrados nos navios são o direto e o estrela-triângulo, com o inversor sendo cada vez mais utilizado.

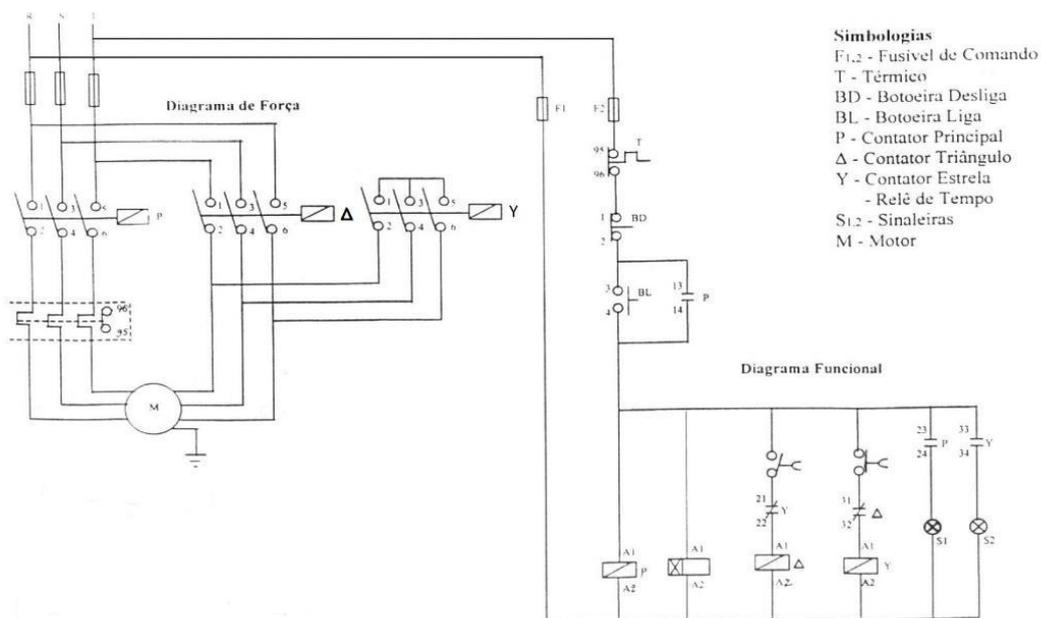
4.1 Método de partida direta

Consiste em uma ligação direta dos enrolamentos do estator do motor com as fases, podendo ser ligado em delta ou estrela. Um problema deste método de partida é o fenômeno chamado de “overshoot”, que consiste em um surto de corrente logo após o motor ser ligado, nas primeiras revoluções, podendo chegar a 8 vezes a corrente nominal de trabalho. Tal fenômeno ocorre porque, estando parado, não há força contra-eletromotriz que se oponha ao fluxo de corrente. Ao iniciar as primeiras revoluções, com o surgimento da força contra-eletromotriz, o fluxo de corrente diminui e se estabiliza no seu valor nominal. O valor máximo instantâneo da corrente solicitada durante a partida varia em função do tipo de construção do motor e proporcionalmente a sua potência.

4.2 Método de partida estrela-triângulo

Como o próprio nome já diz, este sistema realizará uma partida do motor trifásico em um fechamento estrela e após alguns segundos (mais de 63% da RPM nominal) conduz o motor ao fechamento triângulo, vale lembrar que o intuito desta partida é reduzir a corrente elétrica no instante da partida (arranque) do motor elétrico trifásico. Neste caso o motor necessita de uma caixa de ligação, com no mínimo, seis terminais de conexão pois o fechamento das bobinas será realizado com auxílio dos contadores que compõe o sistema da partida estrela triângulo.

Figura 6 – Circuito básico estrela-triângulo



Fonte: esquema dado no laboratório de eletricidade, acessado em 09/07/2015

4.3 Método de partida soft-starter

Figura 7 – Soft-starter SW07

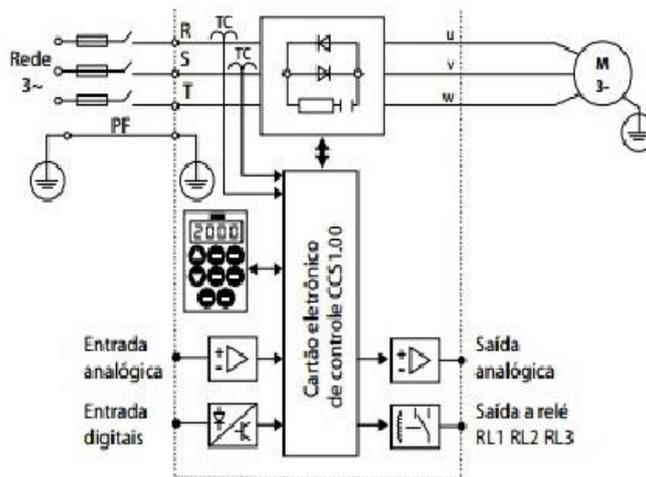


Fonte: www.weg.net, acessado em 19/07/2015

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 de motores

elétricos de indução trifásicos, seja feita através do controle da tensão aplicada ao motor. Conseguindo assim que a corrente de partida seja próxima a corrente nominal.

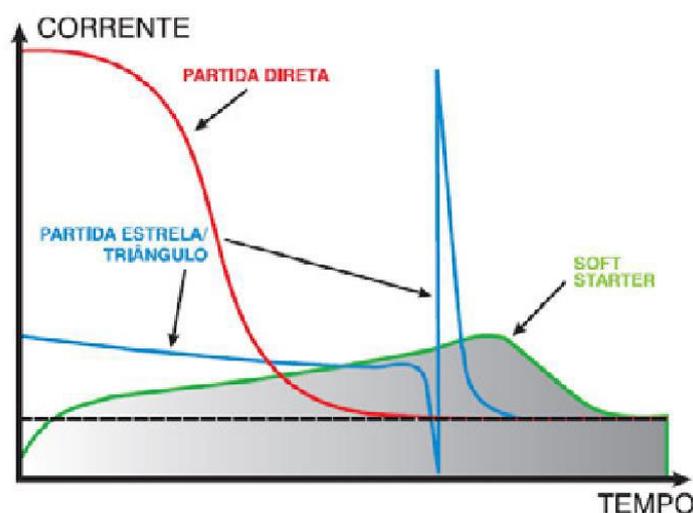
Figura 8 – Bloco esquemático do soft-starter



Fonte: www.portaldoeletricista.com.br, acessado em 19/07/2015

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

Figura 9 – Gráfico comparativo



Fonte: www.portaldoeletricista.com.br, acessado em 19/07/2015

Apesar de tais vantagens a sua complexidade eletrônica e o preço de seus componentes, o sistema “soft-starter” se torna caro e de difícil manutenção. Para que seja evitado um aquecimento desnecessário dos componentes desse sistema, quando o motor chega a sua carga nominal, o sistema “soft-starter”, na maioria dos arranjos, é “by-passado” (transpassado) por uma contatora, a qual liga o motor direto ao barramento.

4.4 Inversor de Frequência

São dispositivos elétricos que convertem a potência da rede alternada senoidal, em potência contínua e finalmente convertem esta última, em uma tensão "alternada" de amplitude e período variáveis. Num projeto básico de um inversor, teremos na entrada o bloco retificador, o circuito intermediário composto de um banco de capacitores eletrolíticos e circuitos de filtragem de alta frequência e finalmente o bloco inversor, ou seja, o inversor na verdade é um bloco composto de transistores IGBT e um oscilador PWM (modulação por largura de pulso), dentro do inversor.

O acionamento de motores elétricos de indução por inversores estáticos de frequência (comercialmente denominados simplesmente inversores de frequência) é uma solução relativamente nova, porém, já amplamente utilizada por sua versatilidade. Eles são usados em motores trifásicos de indução para substituir os antigos e rústicos sistemas de variação de velocidade mecânicos, tais como polias e variadores, bem como os custosos motores de corrente contínua pelo conjunto motor assíncrono e inversor, mais barato, de manutenção mais simples e reposição profusa.

Os inversores de frequência também atuam como dispositivos de proteção para os mais variados problemas de rede elétrica que se pode ocorrer, como desbalanceamento entre fases, sobrecarga e queda de tensão. São geralmente montados em painéis elétricos, sendo um dispositivo utilizado em larga escala na automação industrial. Podem trabalhar em interfaces com computadores, centrais de comando, e conduzir, simultaneamente, dezenas de motores, dependendo do porte e tecnologia do dispositivo.

A grande vantagem de um inversor de frequência é que além de partir um motor elétrico de forma suave, podemos controlar sua velocidade depois que o mesmo tiver partido, podendo assim variar a velocidade para mais rápido ou mais lento possibilitando uma alteração em um processo.

Figura 10 – Inversor de Frequência CFW08

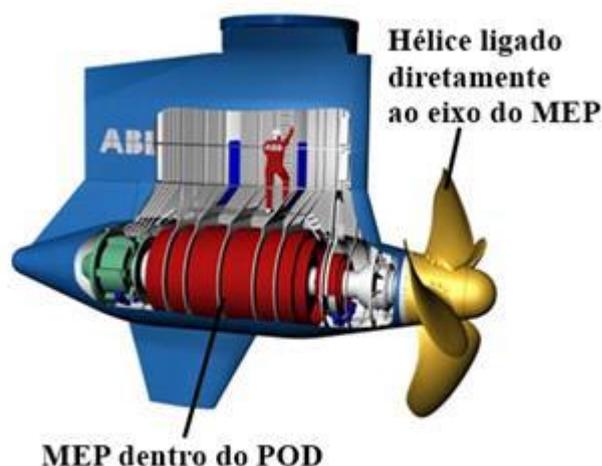


Fonte: www.weg.net, acessado em 18/08/2015

5 PROPULSÃO AZIPOD®

No início da década de 1990 surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o MEP fica instalado dentro do POD e, portanto, dentro da água. Esse POD tem movimento azimutal, com capacidade de rotação de até 360°. O sistema recebeu a denominação de AZIPOD®. Um POD pré-fabricado inclui a estrutura e o motor que, no momento mais adequado da construção, é instalado e conectado ao sistema elétrico do navio e ao sistema de governo.

Figura 11 – POD de um AZIPOD



Fonte: www.hightechFinland.com, acessado em 16/04/2015

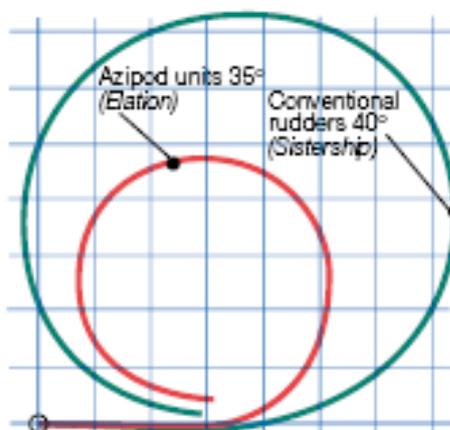
Este sistema vem sendo utilizado em diferentes embarcações por proporcionar uma boa manobrabilidade com torque máximo, em todas as direções, devido ao fato de seu torque não variar de acordo com a direção.

O motor elétrico do sistema AZIPOD instalado no POD, é conectado diretamente a um hélice de passo fixo. Uma vez que esse sistema pode mudar sua posição, um hélice de passo variável se faz desnecessário. Esse sistema é instalado em arranjos simples, duplos ou triplos, dependendo das necessidades do navio.

5.1 Principais vantagens da propulsão AZIPOD®

O sistema de propulsão AZIPOD® combina as vantagens de vários sistemas de propulsão convencionais já existentes no mercado. As vantagens descritas pelo fabricante são as seguintes:

- Redução da praça de máquinas, uma vez que diesel geradores são menores que os MCP`s;
- Não há necessidade de linha de eixo, motores elétricos instalados diretamente sobre unidades AziMuth são responsáveis pelo acionamento dos mesmos;
- Melhor gerenciamento da potência necessária para as operações (economia de combustível);
- Excelentes características de manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e offshore;
- 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 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”;
- Possibilita projetos de cascos mais simples;
- Devido à hidrodinâmica avançada, a unidade AZIPOD® possui excelente desempenho de campo de esteira (wake field).
- Poder eliminar o sistema de máquina do leme e o mesmo, liberando espaço e manutenção

Figura 12 – Comparação de raio manobra

Fonte: www.oceanica.ufrj.br, acessado em 15/04/2015

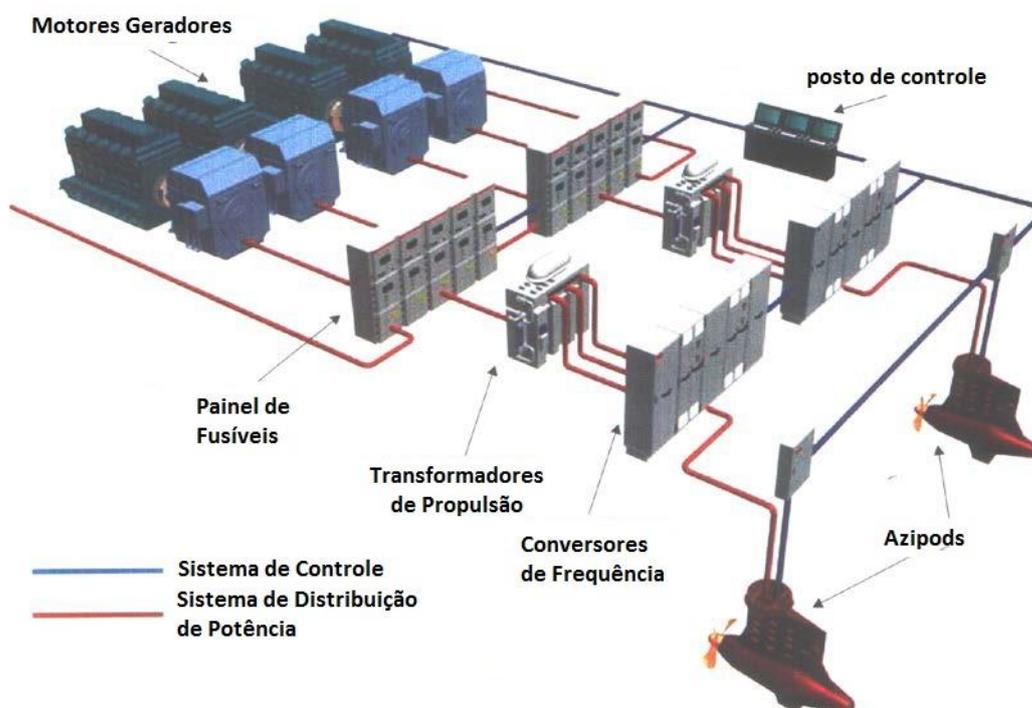
5.2 Aspectos ambientais

A propulsão AZIPOD® também tem a vantagem de um perfil com baixa emissão de gases. Análises das emissões mostram que as máquinas de combustão interna emitem menos óxido de nitrogênio quando operadas em RPM constantes do que em velocidades variáveis. Como a propulsão AZIPOD® emprega máquinas que operam em RPM constante e na faixa de melhor desempenho, as descargas de gases para a atmosfera são reduzidas. Essa característica será muito importante em futuro próximo para as embarcações que operam em rotas costeiras, fluviais, inclusive amazônicas, e, especialmente nas proximidades de plataformas. A legislação atual também está cada vez mais restritiva. Além disso, a propulsão elétrica é ideal para empregar novas fontes de energia como as “power cells” de hidrogênio.

5.3 Sistemas do AZIPOD®

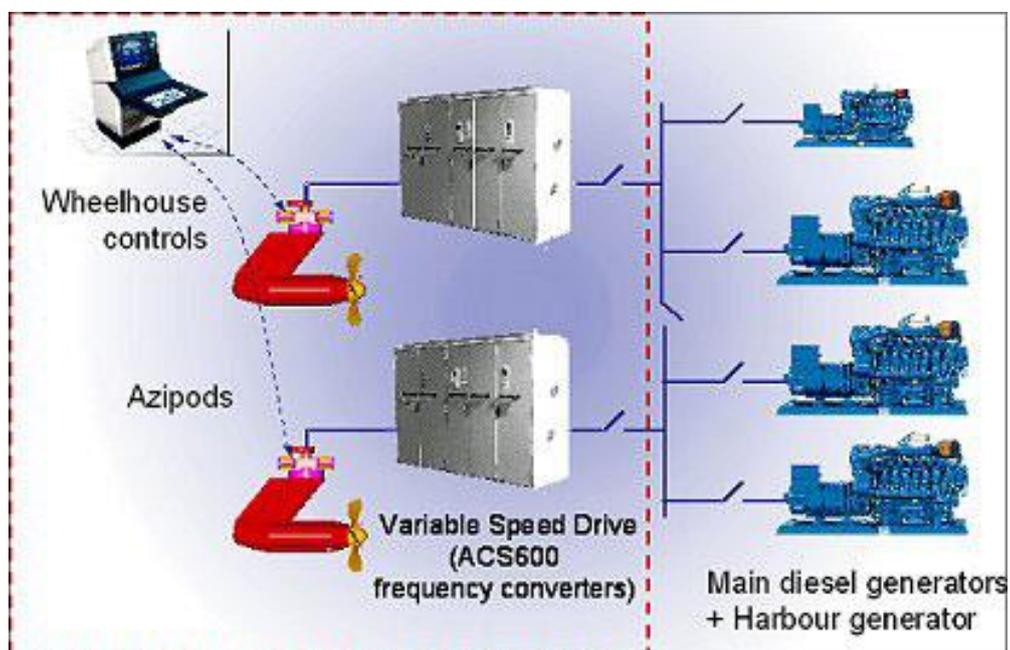
O Sistema padrão AZIPOD® consta dos seguintes componentes: No mínimo um gerador elétrico movido por motores a diesel ou turbina; transformadores de corrente elétrica; inversores (conversores) de frequência e controle de propulsão.

Figura 13 – Arranjo no navio



Fonte: www.oceanica.ufrj.br, acessado em 25/07/2015

Figura 14 – Esquema simplificado



Fonte: www.maniobradebuques.com, acessado em 25/07/2015

5.3.1 Sistema de resfriamento

O sistema usado no resfriamento do AZIPOD consiste em circulação fechada de ar através da unidade AZIPOD e da unidade de resfriamento de ar. Essa unidade de resfriamento é equipada com trocadores de calor entre o ar e água, através dos quais o calor flui para o sistema de água de resfriamento da embarcação.

5.3.2 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 feita como um leme, acionada por um motor hidráulico. 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.

5.3.3 Sistema de selagem

O sistema de selagem do AZIPOD é composto por selos em anel no eixo de giro em azimute e no eixo propulsor para selar os alojamentos dos mancais de escora e mancal do propulsor. O sistema ainda compreende selos de óleo e tanque de gravidade.

5.3.4 Sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação do AZIPOD permite operação sem desgaste, falhas ou avarias, tanto dos mancais do eixo azimutal quanto do propulsor (sustentação e escora).

5.3.5 Sistema de drenagem

Sistema utilizado para drenar eventuais vazamentos de óleo ou água para dentro do POD, operando automaticamente e acionando diversos alarmes.

5.3.6 Sistema de freios e travas

A propulsão AZIPOD é equipada com freios e travas (opcionais) tanto para a rotação do eixo propulsor como para a rotação azimutal (governo). Ele é equipado com um freio a disco hidráulicamente atuado para evitar movimentos durante trabalhos de manutenção, ou em qualquer outra situação em que a linha de eixo precise ser mantida estática.

6 VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

O que aumentou o uso da propulsão elétrica é o reconhecimento da importância de projetar visando custo de vida útil, em lugar de minimizar custos de obtenção iniciais à custa de altas despesas de manutenção e modernização ao longo da vida do meio.

6.1 Redução na emissão de poluentes

Em navios com propulsão tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação da hélice, conseqüentemente, dependendo do perfil de operação do navio, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado a altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível, excessivo desgaste mecânico e mais emissão de poluentes. Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através de combustível) e o eixo propulsor, não existe relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice.

Modernos sistemas de armazenamento de energia e sofisticados algoritmos de controle acentuam esta vantagem da propulsão elétrica, garantindo que o motor primário não sofra grandes variações no perfil de funcionamento independente de alterações na demanda de energia de sistema. Isto se traduz em economia de combustível e redução nas emissões de poluentes, além da diminuição nos desgastes e gastos com manutenção.

6.2 Aumento da vida útil do navio

Os navios mercantes modernos utilizam cada vez mais equipamentos de alta complexidade tecnológica, tornando-os muito mais potentes que navios de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para aquisição destes meios têm crescido numa progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil dos navios.

Como o crescimento da automação dos sistemas, nas décadas de 1980 e 1990, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados aos navios, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que

geradores instalados a bordo sejam de maior potência, a fim de suprir a demanda e manter uma reserva para crescimento futuro.

Com a propulsão elétrica os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, os sistemas auxiliares e os de automação, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, como todos os sistemas vitais em operação. Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas.

Navios projetados com propulsão elétrica poderão ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 15 ou 20 anos dos navios com propulsões tradicionais, disponibilizando assim um maior tempo útil de trabalho pelos armadores.

6.3 Redução da tripulação

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

6.4 Flexibilidade do projeto

Com a utilização da propulsão elétrica, não se faz mais necessário posicionar os equipamentos próximos um ao outro. Além disso a vibração e o ruído provocados por tais equipamentos é menor em comparação aos equipamentos mecânicos.

Geradores podem ser instalados em conveses altos, distantes dos utilizadores, reduzindo-se o precioso volume ocupado pelos dutos de admissão e extração dos seus motores. Como resultado desta flexibilização, não se faz necessário concentrar equipamentos na praça de máquinas, podendo espalhá-los pelo navio visando um melhor aproveitamento dos espaços disponíveis a bordo.

Nos navios com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do conteúdo exposto neste trabalho, vemos que os antigos sistemas de propulsão possuíam muitas limitações, que com o passar do tempo houveram avanços e novos inconvenientes que levaram a necessidade de sistemas de propulsão cada vez mais modernos.

Com a propulsão elétrica, se fez possível realizar manobras que eram irrealizáveis com os antigos sistemas de propulsão, gastando menos tempo. No caso das embarcações de apoio marítimo esse fato é de suma importância, pois como trabalham muito próximas as plataformas as manobras requerem mais complexidade e envolvem mais riscos.

Apesar da propulsão elétrica ser um sistema com elevado custo inicial, pela aquisição de motores elétricos e sistemas azimutais, a opção desde modal como sistema propulsivo se faz vantajoso tendo em vista a relação custo x benefício e aumento de segurança.

Conclui-se que os sistemas marítimos de propulsão elétrica terão cada vez mais importância e espaço nos cenários nacional e internacional. Com a descoberta e exploração da camada pré-sal e o promissor futuro que, no Brasil, aguarda principalmente as embarcações de apoio marítimo, dificilmente a eletricidade entrará em desuso.

REFERÊNCIAS

ABB Azipod Efficiency Improved Again

Disponível em <http://www.marinelink.com/news/efficiency-improved341498.aspx>. Acessado em 28/06/2015

BRASIL. **Código Internacional de Gerenciamento de Segurança (Código ISM)**. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas da Marinha Brasileira. 2001. Disponível em <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em 24/05/2015.

BRASIL. **Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1988, 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: 24/06/2015.

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.

IBRAHIM, Éden Gonzalez Ibrahim. **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 to a modern propulsion system**. 2. ed. Helsinki, Finlândia: Norwegian Society of Chartered Engineers, 1998.

WEG S.A.

Disponível em <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-soft-starters-ssw07-e-ssw08-10413139-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em 19/07/2015