

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

RENAN CAMPOS ESTEVES

MODERNO SISTEMA DE PROPULSÃO

RIO DE JANEIRO

2013

RENAN CAMPOS ESTEVES

MODERNO SISTEMA DE PROPULSÃO

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
Orientador (a): Hermann Regazzi Gerk

Rio de janeiro

2013

RENAN CAMPOS ESTEVES

MODERNO SISTEMA DE PROPULSÃO

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador(a): Hermann Regazzi Gerk
Titulação (Mercante/Especialista/Mestre/Doutor, etc)

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATORIA

Dedico essa monografia ao meu pai Marco Aurélio, pelo esforço, incentivo e apoio incondicional em oferecer a melhor formação para meu futuro e À minha mãe Alvanete pelo carinho, paciência e seu grande zelo fazendo com todo amor minhas vontades, sobretudo ao amor dos dois dedicado à minha vida. Ao meu irmão Pedro Rodrigo pelo grande apoio de sempre.

À minha namorada Mariana pelo carinho, pela pessoa especial que representa na minha vida, e também, por ser compreensiva por tantas vezes que fiquei longe para estudar.

À Vó Nina, in memoriam, pelo amor incondicional com que sempre cuidou de mim.

À Vó Marisa pelo carinho e paciência de estar sempre a postos a me atender sempre que solicitada.

Às minhas tias Eloísa, Karla, Verônica pelo amor, incentivo e ajuda em todos esses anos, principalmente, nesses em que muitas vezes precisei de apoio, conselhos e atenção.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Hermann Regazzi Gerk que através de seus ensinamentos, soube me inspirar nessa nova etapa da minha vida profissional.

Aos meus colegas da EFOMM, pelas horas que passamos em claro estudando para as provas, sempre um ajudando e apoiando o outro.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

Trabalho dedicado a pesquisa descritiva de sistemas propulsores para embarcações. Os sistemas são desenvolvidos para suprir as necessidades do tipo de serviço e a localidade que a embarcação irá operar. Os rebocadores portuários, devido geralmente a limitação de espaço para operação, necessitam de grande manobrabilidade aliada à força de tração, os hélices são de grande diâmetro, portanto com pás de grande área, proporcionando maior superfície de contato e maiores deslocamentos de massa de água. Tratando-se de rebocadores portuários modernos, têm-se os propulsores azimutais, também conhecidos como rudder propellers, ou propulsores leme. As embarcações de apoio offshore do tipo PSV (plataform supply vessel) também estão aderindo a este modelo de instalação propulsora, porém o foco neste são as propulsões convencionais com hélice de passo variável. Com menor diâmetro e de menor área, os propulsores neste caso não visam tração estática e sim maior desempenho em velocidade, pela natureza da operação da embarcação. Salvo em navios AHTS (Anchor handling tug supply), de manipulação dos sistemas de ancoragem das plataformas e também rebocadores, que necessitam de maior tração. Cada tipo de embarcação possui um propulsor para seu melhor desenvolvimento. Descreve-se desta forma cada propulsor com suas características, vantagens e desvantagens desde o mais simples até os atuais com suas complexidades.

Palavras-chave: Propulsores; Embarcações; Rebocadores.

ABSTRACT

Work devoted to descriptive system thrusters for boats. The systems are designed to meet the needs of the type of service and location that the vessel will operate. The harbor tugs, usually due to limited space for operation, requiring great maneuverability coupled with the traction force, the propellers are large diameter, so with blades large area, providing greater contact surface and higher mass displacements of water. In the case of modern harbor tugs have up azimuth thrusters, also known as rudder propellers. The offshore support vessels type PSV (Platform Supply vessel) are also adhering to this model of propulsion, but the focus in this are the conventional propulsion with variable pitch propeller. With smaller diameter and smaller area, thrusters in this case are not intended to higher static traction performance but speed, the nature of the operation of the vessel. Except in ships AHTS (Anchor handling tug supply), handling of anchoring systems platforms and also tugboats needing more traction. Each type of vessel has a propeller for its best development. Describes it this way each thruster with its features, advantages and disadvantages from the simplest to the present with its complexities.

Key words: Thrusters, Boats, Tugs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Voith-Schneider

Figura 2- Twin Propellers

Figura 3- Hélice De Passo Controlável

Figura 4- Electric Propulsion Pods & Azipods

Figura 5- Tubo Kort

Figura 6- Propulsor Com Jato D'água

Figura 7- Tunnel Thrusters

Figura 8- Hélice Contra-Rotativa

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP – Controllable pitch propellers – Propulsor de passo controlável

CPP – Hélice de passo controlável

FP – Fixed pitch propellers – Propulsor de passo fixo

FPP - Hélice de passo fixo

HCA – Motor de combustão auxiliar

HCP – Motor de combustão principal

POD – Propulsion with outboard electric motor-Casulo

PSV – Platform Supply Vessel - Barcos de apoio a plataformas

SRP – Schottel Rudder Propeller

STP – Schottel twin propellers

VSP – Voith Schneider Propellers

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 PROPULSÃO	14
1.1 Passo do hélice	14
1.1.1 tipos de hélice.....	15
2 VOITH-SCHNEIDER	17
2.1 Vantagem	17
2.2 Desvantagem	18
3 TWIN PROPELLERS	19
3.1 Vantagem	20
3.2 Desvantagem	21
4 HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL	22
4.1 Vantagem	22
4.2 Desvantagem	23
5 ELECTRIC PROPULSION PODS & AZIPODS	24
5.1 Entendendo o sistema azipod	25
5.1.1 vantagem.....	26
5.1.2 desvantagem.....	26
5.2 Entendendo o sistema azimuth	27
5.2.1 vantagem.....	27
5.2.2 desvantagem.....	28
6 TUBO KORT	29
6.1 Vantagem	29
6.2 Desvantagem	30
7 PROPULSOR COM JATO D'ÁGUA	31
7.1 Vantagem	31

7.2 Desvantagem	32
8 TUNNEL THRUSTERS	33
8.1 Vantagem	33
8.2 Desvantagem	34
9 HÉLICE CONTRA-ROTATIVA	35
9.1 Vantagem	35
9.2 Desvantagem	36
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

INTRODUÇÃO

Uma embarcação é um produto especial, de alto custo de construção e altos custos operacionais. A tendência atual é que as embarcações, já existentes ou novas, tenham uma maior eficiência operacional, com redução de consumo de combustíveis e, conseqüentemente, com redução de emissão de gases poluentes. A eficiência de um navio está relacionada com a melhoria do projeto do casco, com melhorias nos sistemas de propulsão e com melhoria no processo de manutenção. Desta forma, a eficiência operacional será maximizada pela diminuição dos custos diretos e indiretos, o que implicará em reduzir o consumo de combustível e diminuição da poluição ambiental, mas sempre mantendo a confiabilidade dos sistemas com custos reduzidos de manutenção.

O propulsor é um equipamento usado em veículos de locomoção, para gerar o seu empuxo. Os primeiros propulsores foram os remos, as velas e as rodas de paletas. Os Navios de vapor impulsionados por rodas de paletas começaram a aparecer no final do século XVIII. Entre 1801 e 1802, Symington construiu na Escócia, o “Charlotte Dundas” que foi testado com êxito como rebocador no canal de Forth and Clyde. Em 1807, Robert Fulton concluiu o “Clermont”, que foi destinado ao transporte de passageiros sobre o rio Hudson entre New York e Albany.

Em seguida vieram ‘as’ hélices que surgiram das aplicações de Arquimedes com seu invento, projetada para levar a água até a superfície para irrigação, a chamada bomba de Parafuso. Leonardo Da Vinci também contribuiu para o desenvolvimento dos propulsores desenhando planos para um helicóptero primitivo o qual usava uma hélice sólida, sem pás.

A primeira hélice montada num motor, foi instalada por James Watt um engenheiro escocês em Birmingham na Inglaterra, que a usou no seu motor a vapor. A primeira hélice movida por um motor de combustão interna, foi instalada num pequeno barco, atualmente conhecido como lancha, por Frederick William Lanchester também em Birmingham e foi testada em Oxford. O hélice, como é conhecido na Marinha Brasileira, foi introduzido pela primeira vez por John Stevens em 1804, depois foi melhorada por Josef Ressel em 1829 que projetou e patenteou um hélice em parafuso. Sauvag em 1835, Smith em 1836 e Ericson em 1840, instalaram um hélice em parafuso num navio que mais tarde navegou através do Oceano Atlântico em 40 dias.

Porém, a hélice só se tornou popular quando Isambard Kingdom Brunel decidiu coloca-la em vez de uma roda de água (paddle wheel em inglês) para mover o navio SS Great Britain.

Com o passar do tempo, O hélice em parafuso substituiu a roda de água pela sua grande eficiência, tamanho reduzido, menos complexidade no sistema de transmissão e por ser menos susceptível a danificar-se. Mais tarde os hélices consistiam em duas pás que de perfil tinham o tamanho equivalente ao de uma rotação de um parafuso correspondente em diâmetro, surge a partir daí, a designação de passo do hélice.

Quando se fala em dimensões de um hélice, estas são expressas em duas medidas: diâmetro e passo. Se seu hélice é um 14 x 21, isto quer dizer que ele possui um diâmetro de 14 polegadas e um passo de 21. Quanto ao diâmetro não há dúvida, é o diâmetro do círculo descrito quando o hélice gira. Já o passo é a distância teórica que o hélice percorre para vante quando completa uma volta.

Os sistemas de propulsão foram sendo desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo e com isso, desenharam-se outros tipos de propulsores, como por exemplo, o propulsor a jato de água (Water Jet), o propulsor por ar (Air Jet) e os propulsores azimutais, estes últimos instalados em navios modernos de cruzeiro, de alta velocidade.

Neste trabalho iremos tratar sobre os propulsores dos navios desde o convencional ou simples até os mais modernos com suas vantagens e desvantagens.

CAPÍTULO 1

PROPULSÃO

Após a segunda guerra mundial rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica, porque tinha a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento.

Na década de 70 começaram a surgir soluções para auxiliar as embarcações de apoio marítimo no seu fim junto às plataformas. Em meio a essas soluções veio o posicionamento dinâmico onde um processador digital recebe informações de uma referência, como o Sistema Global de Posicionamento ou outra referência na plataforma e ainda, informações da agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação - a Propulsão Elétrica, que Proporciona uma alta manobrabilidade e conseqüentemente uma maior segurança, evitando acidentes como encalhamento de navios e até mesmo colisão de embarcações de apoio marítimo com plataformas. Requer uma corrente muito alta nos momentos de manobra e mudança de rotação, por isso foi desenvolvido um modo de minimizar esse problema que é a utilização de sistemas azimutais.

Os sistemas de propulsão utilizados em posicionamento dinâmico, citado acima, devem possuir especificações especiais, que os diferem dos propulsores comumente utilizados em navegação. Devem apresentar resposta compatível às mudanças no empuxo requerido, reagindo rapidamente ao comando do sistema de controle e deve permitir a geração de empuxo em qualquer direção. Mas, para melhor entendimento sobre propulsão começasse esse trabalho definindo o passo do hélice e os seus tipos.

1.1 Passo do hélice

Passo é a distância teórica que o hélice percorre para vante quando completa uma volta, do mesmo modo como acontece com um parafuso quando entra na madeira.

Existem dois tipos de passo: constante, conhecido também de *flat* ou *true*, e o progressivo ou *camber*. Passo constante é igual ao longo da pá, desde o bordo de ataque até o

de fuga. Já o passo progressivo começa pequeno no bordo de ataque e aumenta progressivamente até o bordo de fuga. Neste caso o passo nominal do seu hélice é a média dos passos da pá.

O funcionamento do passo de hélice é comparado com a caixa de marchas do motor de um carro. Para um determinado motor, com certo RPM, quanto mais rápido for a embarcação maior deverá ser o passo do hélice. Se usarmos um passo pequeno o giro ultrapassará o limite recomendado, o que diminuirá a vida útil do motor. Ele terá uma ótima aceleração, mas a velocidade final será tão ruim quanto à eficiência de seu hélice. Se for selecionado um hélice com passo muito grande, quando o giro for baixo estará forçando o motor, criando um torque acima do previsto, o que também reduzirá a vida útil do motor. Neste caso, a velocidade final pode não ser prejudicada, mas a aceleração será seriamente reduzida.

1.1.1 tipos de hélice

Passo controlável:

O ângulo das pás pode ser controlado o que dispensa o uso de caixas inversoras. Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em qualquer tipo de embarcação e tem como vantagem o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção.

O passo é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo e não tem necessidade de caixas inversoras. O impulso é controlado pelo passo do hélice, fazendo com que o navio possa navegar com velocidade mais eficiente.

Passo fixo:

O ângulo das pás não pode ser controlado.

Passo Variável:

As pás apresentam curvaturas, modificando a área de contato com a água pela rotação.

Passo Constante (*FLAT* ou *TRUE PITCH*):

As pás não apresentam curvatura e é utilizado em alguns tipos de *tunnel thrusters*. As pás possuem o mesmo passo, desde a aresta de ataque até a aresta de saída. O ângulo do passo é o mesmo, da raiz à ponta da pá.

A partir dessas definições, citaremos a seguir os seguintes propulsores com suas respectivas definições, suas vantagens e desvantagens:

- Voith-Schneider®
- Twin Propellers
- Hélice de Passo Controlável
- Electric Propulsion Pods & Azipods
- Tubo Kort®
- Propulsor com jato de água
- Tunnel Thrusters

CAPÍTULO 2

VOITH-SCHNEIDER®

É um sistema de propulsão cicloidal, que consiste em um conjunto de lâminas verticais móveis instalados em uma base circular rotativa no fundo do casco da embarcação. Essa base circular gira em velocidade constante e baixa, com a força de propulsão sendo produzida pela variação do ângulo das lâminas verticais, como em um hélice de passo controlado, sendo que no Voith Schneider Propeller (VSP) a força criada é no sentido transversal ao posicionamento das lâminas, ou seja, transversal à força exercida.

Foi desenvolvido há mais de 85 anos pelo engenheiro Austríaco Ernst Schneider mas, somente há alguns anos atrás é que este tipo de propulsor passou a ser utilizado para as embarcações offshore, sendo que a primeira embarcação de apoio marítimo a utilizá-lo foi o PSV Edda Fram, lançado em 2007 pela empresa Norueguesa Ostenjso Rederi AS.

Um rebocador equipado com propulsores Voith Schneider® Propeller se destaca pela sua rapidez, a segurança e a precisão com que ele controla uma enorme embarcação. Compara-se essa agilidade com as habilidades de um golfinho, que apenas utilizando sua cauda altera com facilidade o sentido e velocidade de seus movimentos na água.

Esses movimentos são possíveis devido a um sistema inteligente de manobra que combina propulsão e dirigibilidade em um único equipamento. Este é o segredo desses propulsores que são reconhecidos por proporcionarem manobras em todas as direções, e estão presentes em diversos tipos de embarcação como: rebocadores, ferry boats, embarcações de passageiros, guindastes flutuantes (cábreas), embarcações militares caça-minas, lançadores de boias sinalizadoras, barcos de apoio a plataformas (PSV), entre outros.

2.1 Vantagem

A rotação do motor e, conseqüentemente, das pás é mantida constante durante as manobras, sendo o governo e a força de tração, controlados pelo mestre por meio de um sistema com joystick nas versões mais modernas, ou por dois comandos: um volante que define o movimento e a intensidade da força no sentido transversal e duas alavancas operadas

em conjunto (uma para cada propulsor), que fazem a mesma função no sentido longitudinal. O resultado dessa ação dos dois comandos se dá por meio da mudança do ângulo das pás por um processo mecânico bastante simples, o que permite uma resposta imediata do rebocador ao comando do passadiço.

Por ser preciso, seguro, eficiente e confiável, este propulsor é um sucesso mundial em diversos tipos de embarcações que realizam operações nas quais é exigida máxima resposta de manobra e elevados níveis de segurança.



Figura 1-Voith-Schneider

2.2 Desvantagem

Uma desvantagem do sistema de propulsão é que as lâminas de superfície de hidrodinâmica ficam salientes para baixo a partir do fundo do casco. Isso pode criar problemas se o navio entra em águas rasas e as lâminas encontrarem no fundo, pedras ou outros objetos submersos;

Complexidade e custo;

Peso elevado (principalmente o fluido que estabiliza a rotação);

Requer considerável espaço;

Esforço de manutenção elevados;

Estabilizadores de aletas só funcionam para a velocidade para o qual foi projetado;

Estabilizadores de aletas tem alta resistência (mesmo quando retrátil);

Estabilizadores de aletas aumentam o calado do navio.

CAPÍTULO 3

TWIN PROPELLERS

O Schottel Rudder Propeller (SRP), que é um propulsor azimutal cuja definição será descrita mais adiante, têm estabelecido padrões ao longo de décadas no campo da propulsão naval. Este sistema converte a potência do motor em impulso ideal e possibilita também a utilização da força total de propulsão para a manobra da embarcação através da rotação de 360° da parte subaquática. Com o tempo esse sistema foi aperfeiçoado, para um sistema que utiliza dois hélices, o Twin Propeller.

O Schottel Twin Propeller (STP) baseia-se também neste mesmo princípio simples e eficaz. Mas, diferentemente do propulsor azimutal SRP, o Schottel Twin Propeller é equipado com dois hélices que giram na mesma direção de rotação. O sincronismo ideal dos hélices e do tubo de governo com aletas integradas proporciona um aumento significativo da eficiência se comparados a unidades com apenas um hélice.

Funciona com um hélice frontal (Zugpropeller) e um hélice de pressão. Eles estão dispostos entre si de tal maneira que a esteira de turbulência do hélice frontal passa por entre as pás do hélice de pressão posterior, sem obstruí-lo. Através da contração do jato propulsor no hélice frontal uma água adicional atinge lateralmente o hélice de pressão proporcionando um aumento da potência. Além disso, o eixo do propulsor é hidrodinamicamente otimizado e equipado com um sistema de difusor integrado (as aletas).

Com isso o movimento de rotação produzido pelo fluxo do hélice é recuperado, aumentando assim o grau de potência. E, o fluxo do sistema de aletas é um componente da força de empuxo na direção avante, que atua também elevando o empuxo. Desta forma, os níveis de ruído e vibração serão reduzidos consideravelmente. De uma forma mais clara, descreve-se abaixo através dos princípios hidrodinâmico e mecânico o que trouxe esse propulsor.

O princípio hidrodinâmico

- A distribuição da potência nos dois hélices contribui para uma diminuição da carga na superfície das pás;

- Recuperação das perdas rotacionais do hélice frontal através do sistema condutor integrado composto de tubo de governo e sistema de difusor integrado (aletas);
- Carcaça do hélice com fluxo favorável.

O princípio mecânico

- Ambos os hélices giram sobre um mesmo eixo e na mesma direção de rotação;
- Transmissão de potência comprovada sem engrenagem redutora adicional;
- Apenas um pacote de vedação adicional.

3.1 Vantagem

Eficiência maior que a dos sistemas azimutais-Z com apenas um hélice;

Maior transmissão de potência do que apenas com um único hélice;

Menor risco de cavitação devido à menor carga nos hélices;

Menos flutuação na pressão e diminuição nas emissões de ruídos;

Menores perdas mecânicas do que em unidades com dois hélices contra rotativos;

Alta confiabilidade devido ao pequeno número de peças móveis manobrável a 360°;

Alta variabilidade da curva característica que atende aos diferentes requisitos operacionais para a velocidade de até 21 nós;

Especialmente adequado para instalações que admitem somente diâmetros de hélice limitados (calado restrito ou folga na extremidade exigida).



Figura 2- Twin Propellers



3.2 Desvantagem

Motores Convencionais e elétricos síncronos de alta potência e baixa velocidade têm, contudo, as desvantagens de ser de grande tamanho e pesado, logo eixos de propulsores grandes são necessários para acomodar estes motores;

O diâmetro das unidades padrão de transmissão POD possuem debaixo d'água de cerca de 60% do diâmetro da hélice, que tem uma influência na eficiência global;

Para compensar esta desvantagem básica de unidades padrão SIEMENS continuou com sucesso o desenvolvimento do motor síncrono permanentemente excitado no desenho de fluxo longitudinal para aplicações marítimas;

A unidade de teste de 1.000 kW de propulsão já está em operação há mais de 10 anos em um navio da Marinha.

CAPÍTULO 4

HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

Hélices de passo controlável (CPP) para sistemas de propulsão marítima foram projetados para dar a maior eficiência de propulsão em uma ampla faixa de velocidades e condições de carga. Quando o navio está completamente carregado, a propulsão requerida no dado navio é muito maior do que se o navio estivesse vazio. Ao ajustar o passo das pás, obtém-se a máxima eficiência e há também, economia de combustível. Além disso, a hélice de passo controlável tem uma disposição de “palhetas”, que são úteis quando combinadas com vela / motor de navios, já que essa disposição dá a menor resistência à água quando a hélice não estiver sendo usada e as velas são usadas no lugar. Esse propulsor também melhora a capacidade de manobra de um navio.

A CPP é geralmente encontrado em rebocadores, dragas, navios de cruzeiro, ferry-boats, navios de carga e navios de pesca maiores que navegam para portos com limitada ou sem assistência de rebocadores. Antes do desenvolvimento deste hélice, alguns navios alternavam entre hélices de alta rotação ou alta velocidade, dependendo do objetivo. Projetos atuais de CPP podem tolerar uma potência máxima de 44.000 kW (60.000 hp).

4.1 Vantagem

Ao manobrar o navio, a vantagem do Hélice de passo controlável é a mudança rápida de direção de propulsão. A direção do empuxo pode ser alterada sem diminuir a eficiência da hélice e, dependendo do tamanho deste hélice pode ser alterado em cerca de 15 a 40 segundos. A maior capacidade de manobra pode eliminar a necessidade de rebocadores durante a atracação.

Uma engrenagem ou um motor reversível não é necessário para os navios utilizando-o. Economizando assim, dinheiro para instalação e manutenção desses componentes. Dependendo da velocidade de rotação do motor principal e do tamanho do CPP, uma engrenagem de redução ainda pode ser necessária. A CPP exige um sistema hidráulico para controlar a posição das lâminas e não produz desgaste ou sobrecarga sobre o eixo da hélice ou motor de propulsão tanto quanto um hélice de passo fixo (FPP). Em qualquer outra

velocidade de rotação, ou qualquer outra condição de carga, a FPP não será mais eficiente, ou tendo mais passo ou menos passo. A hélice de passo controlável corretamente dimensionada pode ser eficiente para uma ampla gama de velocidades de rotação, uma vez que a altura pode ser ajustada para absorver todo o poder que o motor é capaz de produzir quase a qualquer velocidade rotacional.



Figura3-Hélice de Passo Controlável



4.2 Desvantagem

A hélice de passo fixo (FPP) é mais eficiente que uma hélice de passo controlável em uma velocidade específica de rotação e condição de carga. Nessa velocidade específica de rotação e de carga, um FPP pode transmitir energia de forma mais eficiente do que um CPP. Navios de grande porte que fazem longas viagens a uma velocidade constante, por exemplo, petroleiros ou navios contêineres, não utilizam um hélice de passo controlável, uma vez que a quantidade de energia necessária ultrapassa a capacidade deste hélice.

Embora hélices de passo controlável tenham mais graus de liberdade para operar nas embarcações, seu projeto, fabricação, instalação e operação são mais complexos do que os hélices de passo fixo convencionais. Em geral, o CPP tem dois mecanismos de operação: são eles por engrenagem e hidráulico (por pistão).

CAPÍTULO 5

ELECTRIC PROPULSION PODS & AZIPODS

Primeiramente vamos definir o que é AZIPOD e a diferença entre ele e o AZIMUTHAL. Azipod® é marca registrada da ABB, o termo significa "pod" + Azimuth, pod devido ao formato do thruster e AZI de azimuth por conta da capacidade de giro de 360°.

É uma unidade de propulsão elétrica onde a velocidade variável de motor elétrico de condução do hélice de passo fixo é em pod (casulo) submerso fora do casco do navio, e pode ser girado em torno de seu eixo vertical para dar o impulso de propulsão livremente para qualquer direção. Assim, o navio não necessita de lemes, propulsores de popa transversal dentro do casco do navio.

Esse sistema de propulsão foi introduzido há 20 anos e ganhou uma posição de um sistema de propulsão para navios de grande luxo e de cruzeiro. O conceito tem muitas vantagens: devido à sua propulsão azimutal a manobrabilidade é excelente, ele economiza espaço no interior do casco de navios e dá muita liberdade para o projeto do navio. No entanto, o benefício mais importante do sistema é a redução do consumo de combustível e emissões de CO₂.

O azipod é um motor elétrico fixado fora do casco, o seu induzido é o eixo propulsor, que possui hélices de passo fixo, desta forma o sentido e a velocidade do hélice é controlado por um inversor de frequência. Esta tecnologia é extremamente eficaz na manobrabilidade da embarcação e sua potência pode atender aos mais variados tipos de embarcações.

Sistemas Azipod é uma combinação dos sistemas de direção e propulsão. No sistema de propulsão convencional, um grande motor de dois tempos é conectado ao eixo, o qual atravessa um túnel via tubo telescópico e se conecta ao hélice pela parte externa do casco na popa do navio. O sistema de manobra (máquina do leme) desse sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice.

No arranjo azipod, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e fabricados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice o qual é manobrado por um motor elétrico e girado pelo leme que é conectado ao sistema.

O motor é localizado dentro do casulo selado e é conectado ao impelidor. O sistema de selagem deve ser perfeito caso contrário pode danificar o motor integralmente. O motor utilizado para este sistema é um motor elétrico de frequência variável e usando esta frequência, a velocidade rotacional do impelidor pode ser controlada, ou seja, a velocidade pode ser aumentada ou diminuída.

O termo POD vem de Propulsion with Outboard Electric motor (Propulsão com motor elétrico externo). O conjunto completo do sistema azipod é localizado na parte externa do casco na popa do navio. O azipod pode girar em todas as direções isto é, 360 graus com a ajuda de um leme, e assim fornecer empuxo em qualquer direção o que não é possível no sistema convencional. O propulsor no sistema pod é direcionado pelo leme que é colocado no plano de direção.

5.1 Entendendo o Sistema Azipod

O sistema azipod é um tipo de sistema de propulsão elétrica que consiste de três componentes principais:

1) Transformador de Suprimento

A potência fornecida pelos geradores pode ser tão elevada quanto 6600 KV, a qual é reduzida para a tensão necessária pelo transformador de suprimento e deste é fornecido ao motor disposto no interior do casulo (pod).

2) Motor de Propulsão

O motor de propulsão é utilizado para produzir empuxo ou para dirigibilidade. O sistema precisa de algum método para girar o impelidor e isto é feito com auxílio do motor elétrico.

3) Controlador/Conversor de Frequência

É utilizado para mudar a frequência da potência suprida de maneira que a velocidade de rotação do motor possa ser controlada dependendo da necessidade.

5.1.1 vantagem

No caso de navios grandes, dois ou mais azipods os quais são independentes entre si podem ser utilizados, pois proporcionam manobras de maior precisão;

Economiza-se muito espaço na praça de máquinas já que não existem motores, impelidores, eixos e outros arranjos. O espaço economizado pode ser utilizado para mais carga no navio;

O sistema pode ser posicionado embaixo do navio promovendo desta forma mais eficiência do que o sistema convencional;

O uso de impelidores laterais (bow thruster, side thruster) pode ser eliminado já que os pods podem prover tais esforços laterais;

Vibrações e barulho menores do que no sistema convencional;

Baixo consumo de combustível e lubrificante;

Amigável com o meio ambiente já que as emissões são extremamente baixas.

5.1.2 desvantagem

Sistema azipod requer um custo inicial elevado;

Um grande número de motores a diesel são necessários para a produção de energia;

Há uma limitação da potência produzida pelo motor: atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 21 MW;

Não pode ser instalado em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais necessitam de muita potência e grandes motores.



Figura4- Electric Propulsion Pods & Azipods



Azimutal



Azipod

5.2 Entendendo o Sistema Azimuth

O azimuth thruster é um thruster que pode ser retrátil, rebatível, ou fixo quando usado para propulsão. A máquina motriz fica dentro da embarcação, poder ser um motor elétrico alimentado por gerador ou um motor a diesel, o hélice pode ter passo variável com acionamento hidráulico ou fixo controlado por inversor de frequência, neste caso a máquina motriz será um motor elétrico.

5.2.1 vantagem

Esse tipo de tecnologia tira diversos equipamentos das embarcações:

- Mancais de sustentação;
- Caixas redutoras;
- Eixos propulsores;
- MCP(motor de combustão principal);
- Máquina do Leme;
- Diminuição severa na quantidade de trocadores de calor;

Ainda temos a redução de vibração, redução da manutenção e seus gastos associados e redução da emissão de óxidos de nitrogênio, que poluem o ar;

Com a saída do MCP (motor de combustão principal) alguém deverá suprir potência para estes propulsores saem os MCP's entram os MCA's (motor de combustão auxiliar);

A manutenção destes equipamentos segue padrões mais admissíveis e com maior relação entre tempo e utilização, inspeções a estes tipos de propulsores podem ser realizadas internamente, facilitando assim um diagnóstico mais elaborado de problemas;

Nos períodos de docagem, o fato de não precisar fazer "Puxada de linha de eixo" encurta esse período sobrando tempo para outras manutenções;

Ainda como vantagens temos a redução de vibração, redução da manutenção e seus gastos associados, redução da emissão de NOX, pois devidos a modificações nas plantas de geração de energia o sistema atende facilmente as normais IMO Tier I e Tier II que passou a ser cobrada a partir de Janeiro de 2011.

5.2.2 desvantagem

Como a tecnologia dos Motores de Combustão Interna deu um salto gigantesco, principalmente os motores WARTSILLA considerados hoje os melhores do mundo, ficou muito mais fácil ter um controle de emissões de gases associados a tecnologia de injeção eletrônica que excluiu o Camshaft, o que deu ao motor cerca de 25% mais eficiência;

Relata-se que esta tecnologia trás outros tipos de problemas, principalmente problemas eletrônicos, mas temos que admitir que as vantagens são maiores que as desvantagens;

Um detalhe muito apropriado é que aquele procedimento de "preparar a máquina" fica extinto, pois usando este sistema de propulsão os maquinistas só precisam manter os geradores em "Stand-By Full Time", pois quando a embarcação precisar de propulsão basta que o passageiro dê Start nos Thrusters.

CAPÍTULO 6

TUBO KORT®

Para a obtenção da melhor tração, um hélice deve movimentar a maior quantidade de água possível em um determinado tempo. Um tubulão ajuda o hélice a fazer isso, especialmente quando uma alta tração é necessária em baixas velocidades. À medida que as pás do hélice giram na água, elas criam áreas de alta pressão atrás de cada pá e áreas de baixa pressão na frente. Este diferencial de pressão é o que cria a força para impulsionar a embarcação. Porém, ocorrem perdas nas extremidades de cada pá quando a água sai da área de alta pressão para a de baixa pressão, resultando em pouco benefício para se empurrar a embarcação para vante. A presença de um duto fixo próximo ao hélice reduz essas perdas ao manter o fluxo da água próximo das extremidades das pás.

A área na entrada do tubo kort é maior do que a área na descarga do hélice. Como a densidade da água é constante, a água deve acelerar de um ponto a outro. A água se desloca então mais rapidamente para alcançar o hélice diferentemente do que o faria em um hélice convencional aberto. Por este motivo, mais água é deslocada e uma maior tração é criada para uma mesma potência e torque na motorização.

Achava-se antigamente que o tubo kort reduzia o desempenho teórico da embarcação ao criar mais arrasto em altas velocidades. As evoluções dos projetos de tubo kort fazem com que ele hoje possa ter o coeficiente de arrasto reduzido em até 17 vezes.

6.1 Vantagem

Aumento do empuxo e bollard pull;

Maior eficiência da propulsão;

Proteção da hélice contra impactos;

Menor vibração.

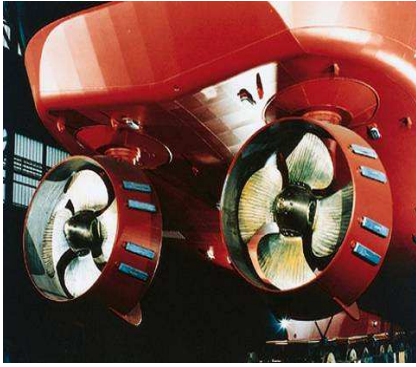


Figura5- Tubo Kort

6.2 Desvantagem

Bicos Kort perdem sua vantagem sobre os hélices em cerca de dez nós (18.5 km / h);

A habilidade de mudança de curso com movimento a ré não é bom;

Pode causar dano ao propulsor em águas rasas porque suga pedras ao seu redor as direcionando para o hélice;

Não recomendado para navios destinados a navegação no gelo;

Aumenta a tendência de cavitação devido a queda de pressão (aumento de velocidade).

CAPÍTULO 7

PROPULSOR COM JATO DE ÁGUA

Esse tipo de propulsão é, basicamente, uma função de diferença na massa de fluxo de água. A água entra e sai em uma unidade de jato em velocidades diferentes, a energia é convertida em pressão através de um impulsor, e o thrust produzido impulsiona o barco. A mudança de direção (direita e esquerda) realizada direciona o fluxo do sistema de saída em um sentido ou outro e movimento para frente e reverso é controlado através de um defletor reverso, que apenas desvia o impulso para vante ou para ré.

Os navios de “waterjet propulsion” são ideais para uso em operações de reboque ou de recuperação porque o impulso máximo para qualquer configuração de aceleração está disponível, até mesmo em embarcações de menor velocidade. Aproximadamente 50% do impulso para a frente pode ser utilizado quando é acionado o defletor reversamente. Seus componentes principais são: bomba e bico.

A bomba é geralmente acionada por um eixo de um motor diesel ou turbina a gás, para tirar água através de um duto de admissão inclinada sob o casco do navio. Água de alta pressão da bomba é descarregada através de um bocal na popa para mover o navio. O bocal da bomba descarrega seu jato de água somente abaixo da superfície da água.

7.1 Vantagem

Produz menos ruído e vibração;

Excelente capacidade de acelerar, reverter, parar e pilotar;

Maior eficiência;

Maior velocidade com menor consumo de combustível;

Sem sobrecargas no motor, diminuição de avarias e aumento do ciclo de vida.



Figura6-Propulsor com Jato de Água



7.2 Desvantagem

Pode ser menos eficiente que um propulsor em baixa velocidade;

Alto custo;

A grade de entrada pode ficar obstruída com detritos como, por exemplo, a alga cujos efeitos podem ser mitigados através de uma caixa inversora entre o motor e o jato d'água.

CAPÍTULO 8

TUNNEL THRUSTERS

Inicialmente utilizado na proa de barcos e rebocadores, estes dispositivos de controle versátil logo se tornaram populares em barcos de serviço offshore de petróleo e maiores embarcações de alto-mar. Eles permitem manobras sem ajuda ao lado de navios e plataformas e fornecem controle preciso em baixa velocidade através de eclusas, canais estreitos e pontes. Atualmente, propulsores de proa são encontrados em aplicações em todo o mundo onde o controle dos navios de precisão é necessário.

O propulsor está instalado em um túnel abaixo da linha d'água na proa. Às vezes, uma segunda unidade está instalada na popa. Para posicionamento dinâmico e manutenção da estação, são usados cinco tunnel thrusters. Possuem impulso com 180° - 90° para qualquer bordo, dá manobrabilidade e maior controle de ancoragem e é de baixa velocidade nas operações.

Os Tunnel Thrusters são classificados em:

- Controllable Pitch Propellers (CP)(Propulsores de passo controlável)
- Fixed Pitch Propellers (FP) (Propulsores de passo fixo.)

8.1 Vantagem

Devido a sua dimensão relativamente pequena, ele pode ser instalado em um navio com proa fina e pode ser localizado na posição ideal para momento de giro máximo;

Revisão completa, manutenção e remoção do mecanismo são muitas vezes realizadas sem a necessidade de docagem em dique-seco e pode ser encontrado tanto na vertical quanto na horizontal;

A forma de alimentação pode ser de um motor diesel, turbinas a gás, motor elétrico ou motor hidráulico.



Figura7- Tunnel Thrusters

8.2 Desvantagem

Propulsores de proa / Thrusters Tunnel são normalmente operados apenas por períodos limitados durante a atracação e manobras;

Sistemas propulsores de túnel, no entanto, sofrem de um certo número de inconvenientes e limitações que são inerentes ao fluxo de água através de uma passagem cilíndrica, isto é, o túnel de um sistema propulsor de túnel, e a interação entre a hélice e a água que flui no túnel-por exemplo, o propulsor de túnel inerentemente limita o volume da água que flui através da região de hélices de influência, restringindo, assim, correspondentemente, o impulso que pode ser gerado pela hélice, e a interação entre a água e os limites do túnel que apresenta uma resistência ao fluxo significativamente maior em comparação com um hélice atuando numa região de fluxo aberto, os quais resultam em eficiência reduzida. Os efeitos do túnel nas características de fluxo de água, também muitas vezes resultam na geração de elevados níveis de ruído devido à cavitação de hélice.

CAPÍTULO 9

HÉLICE CONTRA-ROTATIVA

Hélices contra-rotativas usam uma segunda hélice que roda no sentido contrário à hélice principal para aproveitar a energia cinética perdida no movimento circular do escoamento. A contra-rotação é também uma maneira de aumentar a potência sem aumentar o diâmetro da hélice e anula o efeito de torque nos motores de alta potência assim como os efeitos de precessão giroscópica.

Contudo em aviões de pequeno porte o custo acrescido, a complexidade, o peso e o ruído do sistema raramente compensam. A hélice está normalmente ligada a um veio que ou está ligado diretamente ao motor ou se liga a uma caixa de velocidade. Os aviões de pequeno porte dispensam uma caixa de velocidade, porém em aviões maiores e/ou com turbopropulsores é essencial.

9.1 Vantagem

A área aumentada das pás permite a utilização de relações de engrenagem maiores;

Mais energia pode ser transmitida para um raio de hélice dado;

A eficiência da hélice é normalmente aumentada.



Figura8-Hélice Contra-Rotativa

9.2 Desvantagem

A instalação mecânica de eixos coaxiais contra-rotação é complicada, caro e requer mais manutenção;

Os ganhos hidrodinâmico são parcialmente reduzidos em perdas mecânicas em Eixos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que a evolução dos propulsores, trouxe uma infinidade de embarcações sendo cada uma operando com o propulsor mais indicado pelo peso, função e etc. Então, cada um descrito abaixo mostra sua principal vantagem e onde operam. Sendo desta forma, percebido ao longo deste trabalho que cada embarcação possui como solução melhor para se desenvolver, um propulsor específico.

VOITH-SCHNEIDER®

A principal vantagem desse sistema de propulsão, além de poder atuar para todas as direções radiais com a mesma força de tração, é a velocidade com que as alterações do sentido da aplicação e da intensidade da força podem ser aplicadas, ou seja, possui alta manobrabilidade. Recentemente a Voith Turbo desenvolveu um sistema que atenua o efeito lateral das ondas nas embarcações que operam em mares não abrigados (roll dampening), e está sendo instalado nos novos PSV's Diesel-Elétrico acionados por esse propulsor.

TWIN PROPELLERS

Este propulsor é sucesso de otimização do completo sistema de propulsores azimutais e, assim ideal como sistema de propulsão para todas as embarcações de velocidade média com aplicações que usam cargas de hélice mais elevadas. Isto ocorre devido à tecnologia do duplo hélice que distribui a potência em dois hélices reduzindo a carga em cada hélice individual e aumentando desta forma a eficiência.

HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em qualquer tipo de embarcação. Tem ao seu favor o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção. O passo é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo e não tem necessidade de caixas inversoras.

ELECTRIC PROPULSION PODS & AZIPODS

O sistema Azipos possui maior manobrabilidade já que o POD pode ser girado em todas as direções. Isto proporciona melhor distancia para se atracar durante as manobras do que aquela fornecida pelo sistema convencional;

O sistema azimutal de propulsão foi pensado para fornecer maior capacidade de manobra às embarcações de apoio portuário, isso devido aos pequenos espaços para realizar operações nos canais e hidrovias.

Este tipo de thruster usado como propulsor é mais simples e mais comum em pequenas embarcações.

TUBO KORT®

Com o uso de tubos Kort, há consideráveis ganhos de empuxo e economia de combustível. Um rebocador com tubo Kort pode ter um aumento de até 40% de bollard pull em relação a outro com hélice convencional. Além da economia de combustível, o tubo Kort também proporciona maior velocidade final.

PROPULSOR COM JATO DE ÁGUA

Esse tipo de propulsão é muito usada em embarcações de lazer pois oferece maior segurança, manobrabilidade, economia, conforto, e não afeta o meio ambiente (prejudicial apenas para corais frágeis). Oferecem menos ruídos e proteção a banhistas e animais submarinos, que podem ser feridos pela atuação do hélice.

TUNNEL THRUSTERS

Conjuntos helicoidais de corte de engrenagens são construídos a partir de peças forjadas de aço que são banhadas e combinadas após trituração. Isto proporciona longa vida

extra e confiabilidade. Proporciona baixas perdas de potência da entrada à saída e o maior impulso em relação ao túnel, tendo assim alta eficiência.

HÉLICE CONTRA-ROTATIVA

Hélices contra-rotativas eliminam as perdas rotacionais, não produzem forças laterais e minimizam a cavitação;

Essas hélices de passes invertidos são mais indicadas para turbinas eólicas na geração de energia elétrica e nesse caso uma delas é fixada na carcaça do estator e a outra no eixo do indutor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MAC ELREVEY, Daniel H.; MAC ELREVEY E.; MC MILLIN, Earl R. **Shiphandling for the mariner**. 4. ed. New York: Cornell Maritime Press, 2004. 386 p.

SERVICE & SUPPLY OFFICE. **SCP-Controllable Pitch Propeller-hélice de passo controlável**: sistemas de propulsão para aplicações. Disponível em: <www.schottel.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2013.

SERVICE & SUPPLY OFFICE. **STP-Schottel Twin Propeller-duplo hélice schottel**: sistemas de propulsão para aplicações. Disponível em: <www.schottel.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2013.

VAN DOKKUM, Klaas. **Ship knowledge**: ship design, construction and operation. 6. ed. Netherland: Dokmar Maritime, 2010. 383 p.