

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE
MÁQUINAS - APMA

MOTORES DE PROPULSÃO ELÉTRICA

Por: Filipe Gregores Teixeira

Orientador
1OM Cláudio de Jesus
Rio de janeiro
2012

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE
MÁQUINAS - APMA

MOTORES DE PROPULSÃO ELÉTRICA

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas.

Por: Filipe **Gregores** Teixeira

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, aos meus amigos e professores que me ajudaram durante essa pesquisa, me dando orientações e conhecimentos pra que pudesse realizar este trabalho. Em especial, ao meu professor orientador que tanto me auxiliou.

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, irmã, amigos, familiares e professores que tanto contribuíram que esse trabalho pudesse ser realizado, pois sozinho não conseguiria realizá-lo.

RESUMO

O presente trabalho aborda os sistemas de propulsão elétrica de embarcações de modo geral e mostra a sua evolução desde os antigos submarinos, até o cenário atual caracterizado pelas modernas embarcações de apoio marítimo. Apresenta também, os seus arranjos básicos, as possibilidades e limitações de cada um, assim como razões para o desenvolvimento da propulsão elétrica.

Todos os sistemas e seus respectivos componentes de uma instalação de propulsão elétrica mais comum nas embarcações de apoio marítimo também são demonstrados junto com suas vantagens e desvantagens.

ABSTRACT

The present work approaches the systems of electric propulsion of embarkations in general and shows its evolution from the old submarines until the current scenery characterized by the modern embarkations of marine support. Also presents their basic arrangements, the possibilities and limitations of each one, as well as reasons for the development of the electric propulsion.

All of the systems and their respective components of the most common electric propulsion installation in the embarkations of marine support are also demonstrated with their advantages and disadvantages.

LISTA DE FIGURAS

Nº	TÍTULO	PÁGINA
1	- Praça de baterias e baterias de um submarino	10
2	- Coletor, porta - escovas e escovas	13
3	- Evolução do desgaste das escovas	14
4	- Avaria em um coletor de motor elétrico	15
5	- Embarcação de apoio marítimo em faina	17
6	- Planta elétrica	18
7	- Ferry “Baía de Todos os Santos” atracado	20
8	- Vista parcial do QEP do ferry “Baía de Todos os Santos”	21
9	- Inversor de frequência no QEP do ferry “Baía de Todos os Santos”	22
10	- Um dos quatro PODs do ferry “Baía de Todos os Santos”	23
11	- Desenho do POD do ferry “Baía de Todos os Santos”.	23
12	- Controles do sistema de governo ferry “Baía de Todos os Santos”, no passadiço.	24
13	- Inversor de frequência CFW 09 da WEG	25
14	- Motor em CC	26
15	- Motor WEG em CA (sem escovas)	26
16	- Curvas característica de torque e corrente, inclusive soft-starter.	28
17	- Arranjo típico do sistema AZIPOD [®] e do sistema de energia	33
18	- Propulsão CRP Azipod [®] .	35
19	- Propulsão Azipod [®] Compacta	35
20	- Unidades HPU e OTU de um sistema Azipod [®] .	36
21	- Unidades TRU, CAU, STU e AZU de um sistema Azipod [®] .	37

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 - Desenvolvimento	10
2 - Propulsão em Corrente Contínua	13
3 - Propulsão em Corrente Alternada	16
4 - Inversores de Frequência	25
4.1 - Controles de Motores Elétricos	26
4.1.1 - Formas de Partida	27
4.2 - Vantagens e Desvantagens	28
4.3 - Comparação dos Métodos de Partida	29
5 - Propulsão em Corrente Alternada com MEP no POD	31
5.1 - Introdução	31
5.2 - Vantagens	31
5.3 - Sistema Elétrico e a Propulsão AZIPOD [®]	32
5.4 - Empregos	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
ANEXO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

INTRODUÇÃO

No Brasil, recentemente, foram descobertos muitos campos de petróleo e cada vez mais profundos e afastados da costa. A tecnologia tem acompanhado esse avanço pari passu. Os perfuradores, das plataformas, dos navios tanques e das embarcações de apoio à plataforma são muito exigidos no que diz respeito a essa tecnologia para ser possível atender a demanda do mercado e ao interesse de empresas.

Os perfuradores têm capacidade de ir cada vez mais fundo, tanto se referindo a lamina d'água quanto a subsolo perfurado. Existem plataformas que são quase que uma refinaria em alto mar. São imprescindíveis as embarcações para auxiliar fainas de suprimento, reboque, segurar barreiras de óleo e varias outras atividades. Daí vem a motivação dessas embarcações usarem um sistema de propulsão específico, para o atendimento das suas tarefas.

A propulsão elétrica está sendo a alternativa adotada junto com hélices laterais e modernos sistemas de propulsão, tudo isso para fazer com que a embarcação possa pairar junto a plataforma com margem de erro muito pequena e a máquina possa ter uma resposta rápida, proporcionando assim maior confiança e reduzindo os riscos de acidentes.

Não se pode esquecer dos navios passageiros, que, hoje em dia, também estão adotando este tipo de propulsão. Antigamente, era necessário que rebocadores ficassem auxiliando suas manobras ao parar em lugares turísticos. Mas devido aos altos custos, a melhor solução foi a instalação de motores elétricos para propulsão e hélices laterais eliminando assim os gastos com rebocadores.

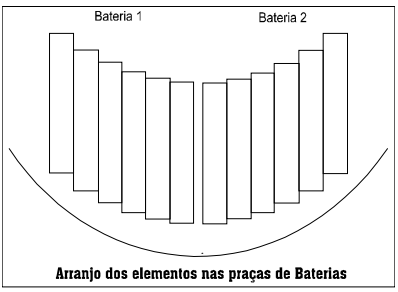

CAPÍTULO I

Desenvolvimento

A propulsão elétrica nasceu junto ao desenvolvimento dos submarinos quase cem anos atrás. Até hoje é usado o mesmo sistema em submarinos chamados convencionais, porém há um grande inconveniente: o armazenamento de energia. Ainda não inventaram nenhum outro tipo de armazenamento de energia a não ser com bateria de acumuladores chamados por muitos de bateria.

Submarinos quando imersos não podem usar seus geradores movidos por motores de combustão interna (MCI) por um motivo básico: insuficiência de ar. É necessário operar o MCI quando o submarino estiver na superfície ou perto empregando um “snorquel” para que sejam acionados os geradores. Por sua vez os geradores energizarão motores elétricos de propulsão (MEP) e também carregarão baterias. Quando é necessário que pare o MCI, o MEP é energizado pelas baterias que também alimentam todos os outros equipamentos do submarino. Por isso àqueles equipamentos que precisam de corrente alternada (CA) faz-se o uso de inversores.

As figuras a seguir dão uma idéia do espaço ocupado pelas baterias.

	
<p>Figura 1a – diagrama com um corte de uma praça de baterias de um submarino.</p>	<p>Figura 1b – praça de baterias de um submarino.</p>

Essas baterias mostradas equivalem, tanto no tamanho quanto no peso, à carga do navio mercante.

Os mercantes também têm bateria, porém são poucas e dispostas em locais altos e ventilados, para melhor administrar o arejamento dos gases explosivos gerados no processo de carga.

Como a convenção SOLAS exige que os navios mercantes tenham apenas uma fonte alternativa para emergências, o uso de bateria a bordo dos navios mercantes é limitado aos sistemas temporários suficiente para manter a operação da automação, de alarmes, de comunicações internas, do GMDSS e da iluminação transitória.

Após a segunda guerra, rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos navios de propulsão elétrica que a MB recebeu na década de 40 (conhecidos como DE), pois essa propulsão permitia variações suaves e pequenas na rotação do eixo propulsor, o que é muito importante em atividades de reboque e salvamento.

O MEP do DE, em corrente contínua, é teoricamente ótimo. Contudo, um motor aberto, com escovas e anéis comutadores, em um porão úmido de navio, é um grande problema.

Desse modo, a propulsão elétrica em navios, ficou bastante limitada por muito tempo. Após a década de 70 com a proliferação de plataformas marítimas de petróleo em alto mar, alguma dessas sendo gigantescas ilhas de aço muitas milhas oceano adentro, surgiram embarcações destinadas a fazer o abastecimento das mesmas, outras que a rebocam e algumas com finalidades específicas.

Esse conjunto de embarcações atende pela denominação coletiva de embarcação de apoio marítimo (EAM). Logo veio a necessidade de novas soluções para auxiliar as EAM nas suas atividades junto às plataformas, pois essas embarcações devem se manter muito próximas das plataformas por longo período de tempo. Em meio a essas soluções veio o posicionamento dinâmico (DP) onde o mesmo aciona as máquinas do navio para manter a EAM em uma posição relativa à plataforma

Exige-se muito quanto a manobrabilidade de uma EAM, como, por exemplo, é indispensável o uso do deslocamento lateral da embarcação junto à plataforma. Então, outra

solução começou a ser usada intensamente, que são os hélices transversais, na proa e na popa (“bow thruster e stern thruster”).

Outrossim, nada adianta a instalação de hélices laterais, DP e GPS, se a propulsão do navio não responder rapidamente quando acionada pelo DP. Logo, fez-se necessário a instalação de propulsão elétrica na popa dessas embarcações.

Entretanto, foi detectado um problema pior do que os antigos DEs: na hora da reversão de marcha, durante a manobra, os MEPs em corrente alternada têm uma altíssima corrente de partida. A solução encontrada foi incorporar um hélice de passo variável acionado pelo MEP.

Para dar uma solução a essas questões a ABB lançou no início do século XXI o sistema AZIPOD® com energia gerada em CA, distribuída para todo o navio, inclusive para os MEPs. Mas, antes de chegar aos MEPs, ela é retificada para CC e, logo em seguida invertida para CA, com tensão e frequência adequada à tarefa da ocasião. Na solução da ABB o motor elétrico fica mergulhado sob a popa da EAM e o hélice está instalado no prolongamento do eixo do motor elétrico. O AZIPOD® é capaz de girar quase 360° em torno do seu suporte vertical, como nos propulsores azimutais (ASD). Desse modo a EAM dispensa a existência de muitas partes moveis para a transmissão, máquina do leme, e ainda elimina a necessidade de “thruster” lateral a ré. Outras informações sobre os sistemas AZIPOD® serão apresentadas em outro capítulo mais adiante.

CAPÍTULO II

Propulsão em Corrente Contínua

Ultimamente o uso de corrente contínua para propulsão elétrica está escasso. Porém, ainda hoje existem algumas embarcações que trabalham com propulsão e instalações em corrente contínua, devido às necessidades para manobras em águas restritas. A antiga planta de propulsão elétrica em corrente contínua, ainda usada, é integrada por quatro geradores elétricos da propulsão (GEPs) em 220 volts CC e mais quatro motores elétricos da propulsão (MEPs), sendo dois por eixo, inseridos no eixo propulsor entre o mancal de escora e o hélice.

O MEP da propulsão elétrica em corrente contínua era um motor do tipo serie universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas. O uso contínuo e as grandes variações de corrente em manobras provocavam desgaste acelerado de ambos e requeriam constante manutenção das escovas e do coletor.

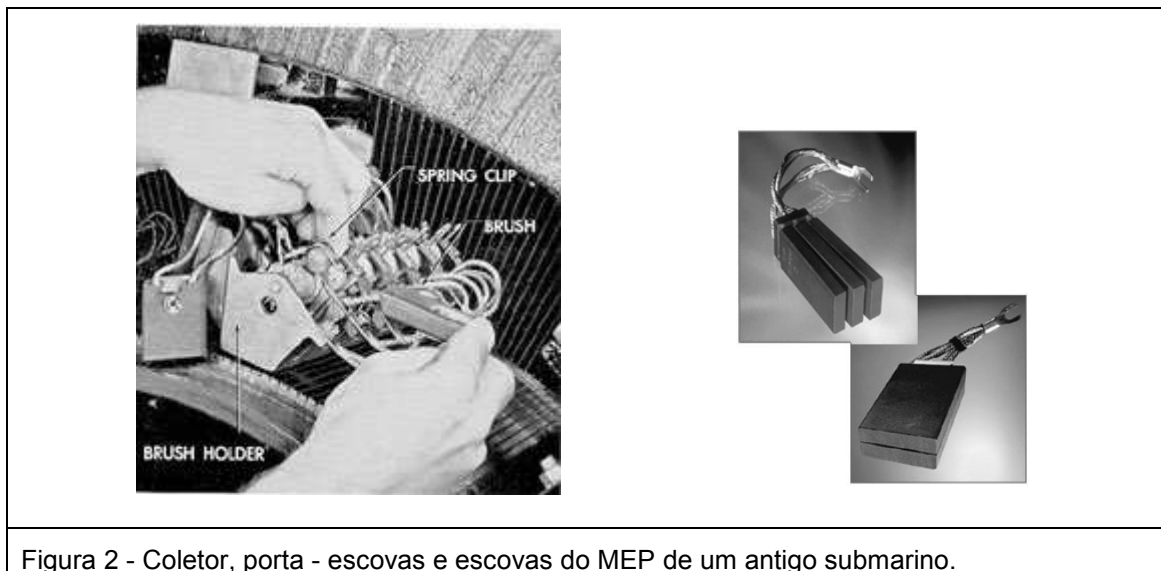


Figura 2 - Coletor, porta - escovas e escovas do MEP de um antigo submarino.

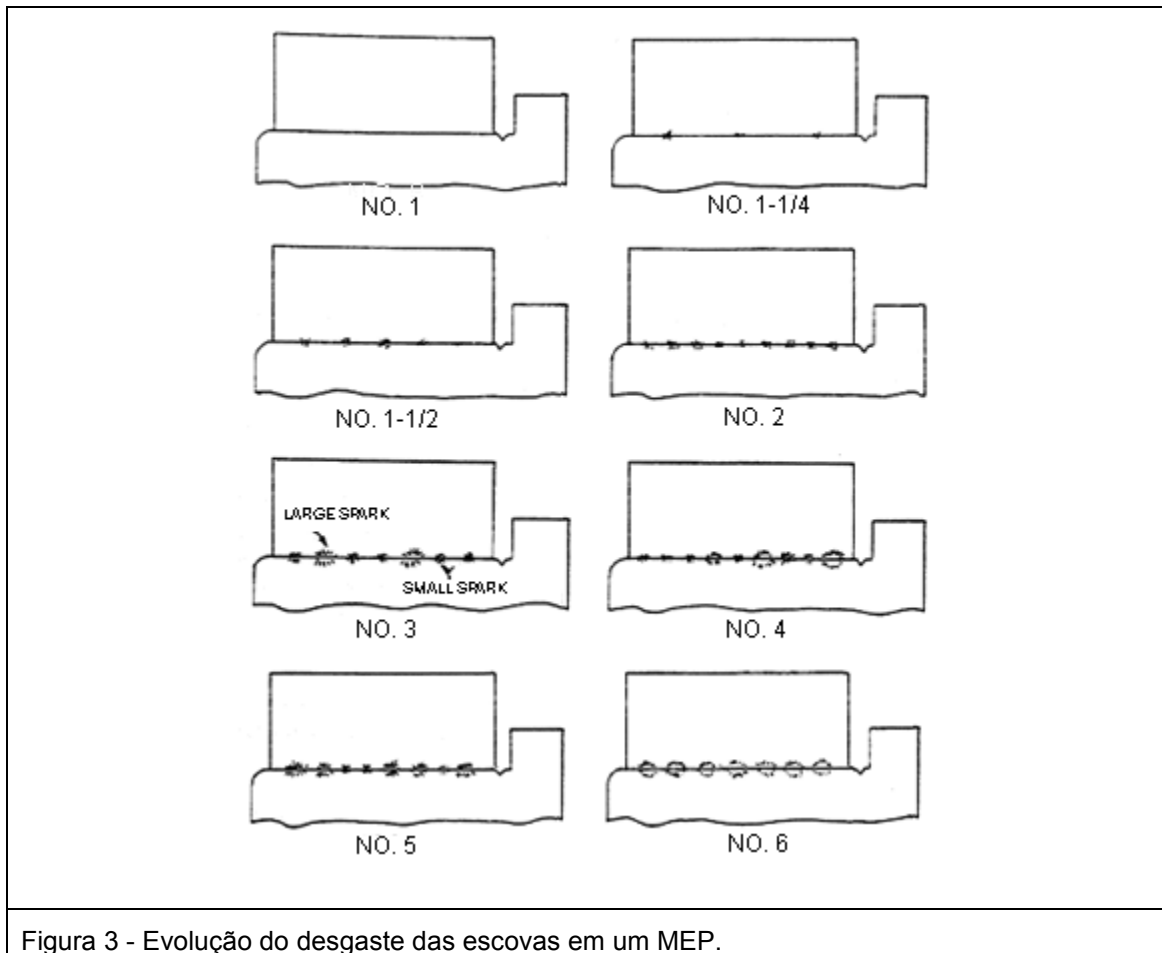
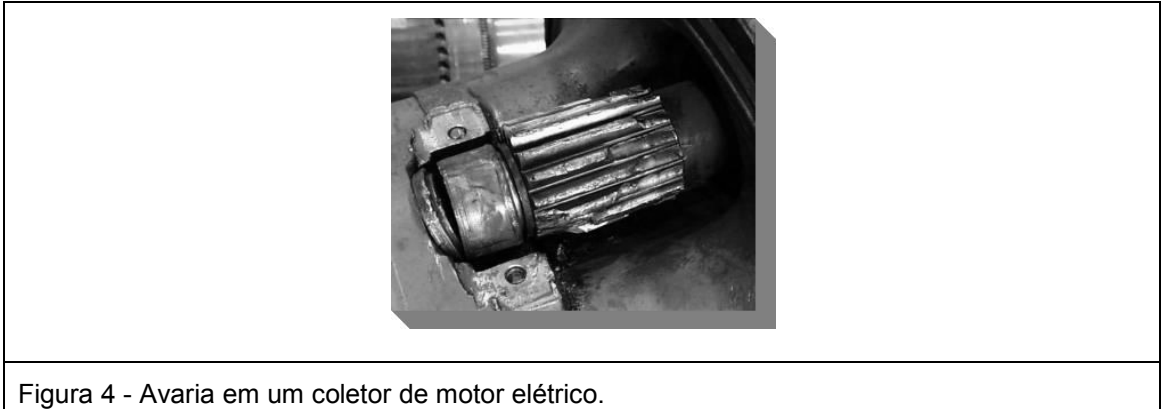


Figura 3 - Evolução do desgaste das escovas em um MEP.

A figura 3 acima mostra em etapas de 1 até 6 a evolução do desgaste de uma escova (retângulo acima) de encontro ao coletor (forma abaixo). Na primeira, no alto a esquerda (nº. 1), praticamente não existe centelha.

Na medida em que o atrito escova – coletor provoca o desgaste da escova, as centelhas começam a surgir, desde uma pequena centelha (small spark) até varias grandes centelhas (large spark), na etapa 6 abaixo a direita na figura 3. O processo é cumulativo, aumentando exponencialmente as centelhas e, conseqüentemente, o calor produzido. Se esse calor for exagerado, ele pode destruir o material isolante entre as teclas ou entre as teclas e o eixo e avariar o coletor do motor.



Quando o centelhamento observado no coletor é intenso está na hora de parar o MEP e proceder à manutenção nas escovas e coletor.

Os antigos GEP e MEP da propulsão elétrica em corrente contínua não podiam ser enclausurados como os modernos motores de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo. O calor gerado pela comutação escovas – coletor, mais o calor dos campos da máquina precisavam ser dissipados, o que normalmente é feito por uma ventoinha, do mesmo modo que a furadeira manual. A circulação de ar introduz nos campos da máquina o pó produzido pelo atrito da escova de encontro ao coletor e até mesmo pequenos pedaços das escovas. Desse modo, além da umidade e poeira da praça de máquina, tanto o MEP como o GEP recebe uma grande quantidade de partículas de carbono e, ocasionalmente, algum corpo estranho. Por isso, essas máquinas são muito mais vulneráveis às baixas resistências de isolamento nos seus campos.

Apesar de todos esses problemas, a propulsão elétrica em corrente contínua era adotada, porque se constituía em uma solução para as missões das embarcações de superfície que a empregavam, especialmente a manobrabilidade. No caso de algumas embarcações a variação suave da velocidade, especialmente na partida, é fundamental nas fainas de reboque, de modo similar à partida de um trem uma composição do metrô lotada de passageiros.

Em suma, a propulsão elétrica com corrente contínua é boa por um lado, pois apresenta melhor capacidade de manobra pela variação da RPM uma a uma, resultando em fainas de reboque mais seguras, e ruim por outro, pois exige manutenção freqüente em máquinas elétricas, e o todo o equipamento é caro e complexo devido ao problema da comutação elétrica (escovas – coletor).

CAPITULO III

Propulsão em Corrente Alternada

A partir das crises do petróleo e do fechamento do Canal de Suez surgiram os gigantescos navios tanque transportando petróleo do oriente médio para portos europeus e japoneses. Uma resposta da tecnologia daquela época foi o Sistema Schottel, dentre outras soluções.

O Sistema Schottel consiste de hélices montadas em um conjunto que pode ser movimentado em azimute (contereado). O MCP aciona o hélice e o sistema de governo movimenta, em azimute, o conjunto onde o hélice está montado. Ainda não era uma propulsão elétrica, mas já dispensava o leme.

O conjunto formado pelo propulsor e pelo sistema que o direciona em azimute é chamado de “POD” por muitos autores; outros chamam de “RABETA” em analogia com os propulsores das embarcações de recreio.

No final da década de 70 ocorreu um substancial aumento nos preços do barril de petróleo. Em consequência varias nações se lançaram à prospecção e extração de petróleo em campos no alto mar. As plataformas de petróleo se multiplicaram no Mar do Norte e outros locais. No Brasil, a Bacia de Campos começou a ser explorada e hoje produz uma grande parte do consumo nacional. Cada uma das plataformas de petróleo em alto mar precisa de cerca de cinco embarcações de apoio marítimo para fornecer combustíveis, rancho, material para abertura dos poços e sua manutenção, substituir tripulações, reposicionar a embarcação, fazer socorro e salvamento, dentre outras fainas. As embarcações de apoio portuário não se prestam para os serviços de apoio às plataformas, devido ao seu porte, capacidade de carga, etc.

As embarcações de apoio marítimo (EAM) que começam a surgir têm quase o porte de alguns navios, mas continuam a ter a quase os mesmos problemas da embarcação de apoio portuário, especialmente no que toca a capacidade de manobra. Por outro lado, as EAM exigem uma capacidade de carga que a embarcação de apoio portuário não tem, e nem precisa ter.



A figura 5 acima ilustra claramente a necessidade de espaço livre no convés da popa da EAM, para transporte de carga e para permitir a livre operação do guindaste da plataforma que movimentará a carga da EAM para a plataforma. Fica evidente também que a EAM precisa ter boa capacidade de manobra para não colidir com a plataforma durante a faina de reabastecimento. O sistema Schottel é uma solução para a capacidade de manobra, mas têm inconvenientes, como, por exemplo, eixos estendidos desde o propulsor na popa até o MCP quase na proa.

As embarcações de apoio marítimo que empregam o sistema Schottel têm uma grande extensão de eixo entre o MCP avante e o POD na popa.

Então, outra solução foi projetada na década de 70, aproximadamente. O eixo longo entre o hélice e o MCP foi eliminado. No seu lugar foi usada a propulsão elétrica. Nela os MCP, quatro ou seis, acionam igual número de GEPs. Os GEPs são ligados a um QEP e desse

QEP sai a energia para os utilizadores do navio e também para o quadro de manobra (controle) dos 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 têm eixo.

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. Nesse caso, conforme aumenta a demanda de energia devido à aceleração do navio, a automação “chama” outro gerador. Ou seja, a automação aciona o motor diesel do MCP programado, verifica a geração do GEP inclusive a excitação, fecha o disjuntor e distribui a carga, para, em seguida, liberar o aumento da velocidade do navio pela aceleração da rotação do MEP. A figura 6 apresenta um esquema simplificado da planta elétrica dessas embarcações.

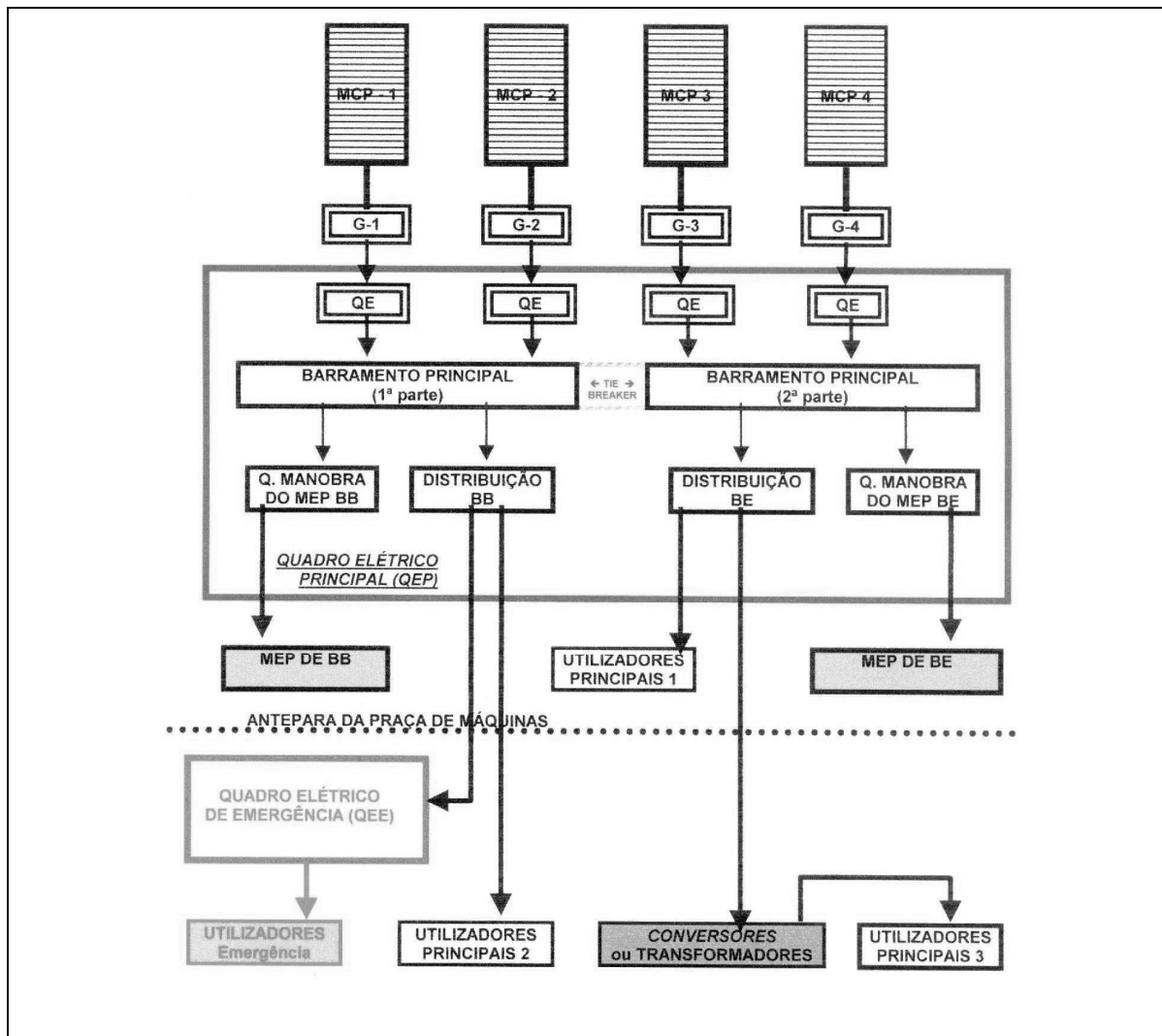


Figura 6 – Planta elétrica.

Nas embarcações dessa espécie os MEPs são motores de indução em corrente alternada. A variação de velocidade é feita através de vários artifícios que, isoladamente ou combinados vão atender às necessidades do navio.

Além disso, é comum encontrar hélices de passo controlado (HPC) nas instalações ora descritas, o que diminui a necessidade de grande variação na carga do MEP. A variação de passo ainda permite a reversão sem precisar parar o MEP e inverter o sentido da sua rotação, como é preciso fazer nos motores elétricos menores, por exemplo, nos guinchos de atracação e molinetes dos ferros.

O NSS Felinto Perry, comprado pela MB na década de 1980, é uma EAM adaptada para pesquisa submarina. A propulsão do NSS Felinto Perry continuou como era, elétrica e em corrente alternada.

Com todo esse arranjo, o navio tem a capacidade de pairar, porém apresenta algumas desvantagens. O que costuma ocorrer neste tipo de arranjo da propulsão elétrica é a instabilidade dos GEPs em paralelo.

Na propulsão elétrica a maior variação de carga ocorre, principalmente, nas variações de velocidade e sentido de rotação das máquinas durante as manobras do navio. É então que a instabilidade no paralelo dos GEPs pode desligar toda a geração de energia do navio, justamente no momento da manobra, seja junto ao cais, seja pairando nas proximidades de uma plataforma. Em nenhuma dessas ocasiões isso é desejável.

Outra desvantagem é que elas incluem os dois lemes e suas máquinas ocupando espaço na popa e a enorme corrente de partida dos MEPs. Alguns estranham a convivência de quatro hélices laterais com dois lemes, mas é preciso lembrar que os hélices laterais só têm efeito em baixas velocidades, até quatro a seis nós. Desse modo, nas travessias, é o leme que mantém o rumo.

A propulsão elétrica não é muito encontrada no mercante clássico, ou seja, não é muito usada no navio comum. Ocasionalmente tem hélice lateral na proa, com potência no entorno dos 1.000 HP, mas é um investimento questionável porque o equipamento é inútil em

velocidades acima de quatro a seis nós e ainda porque fica parado por muitos dias ou semanas, sem uso, em local muito exposto á umidade. A validade do uso de “bow thruster” no navio comum vai depender, dentre outros motivos, da redução de custos obtida com a menor quantidade de rebocadores portuários e a freqüência com que o navio manobra nos portos.

No caso de embarcações como o ferry, pequenas embarcações que atravessam alguns canais, rios ou baías, como o canal de Santos e o rio Itajaí, existe outra razão para o arranjo da propulsão elétrica. Como no ferry “Baía de Todos os Santos”, operado pela empresa “COMAB” há dez GEPs dispostos nas laterais da embarcação, em vez de quatro ou seis no centro, o projeto pode deixar espaço livre para o convés de carros (“car deck”) no centro da embarcação. O navio com arranjo similar pode ser reconhecido do cais observando-se a chaminé. Em vez de uma única chaminé, essas embarcações possuem duas ou mais chaminés colocadas fora da linha longitudinal que vai da popa até o bico de proa; algumas têm as chaminés quase na borda. Outras embarcações como o ferry “Baía de Todos os Santos” nem têm chaminés claramente visíveis do cais.



Figura 7 - Ferry “Baía de Todos os Santos”, atracado em Salvador. O navio tem rampa nas duas extremidades.

Naturalmente, o QEP do navio com propulsão elétrica passa a ser o cerne da manobra do navio. No caso do ferry “Baía de Todos os Santos”, o QEP (figura 8) recebe energia dos GEPs em 440 volts CA, 60 Hz para os MEPs e para os demais utilizadores do navio.

Naturalmente, quase sempre, a carga elétrica dessa espécie de embarcação é maior do que a capacidade de um gerador. Faz-se preciso então ter vários geradores “em barra” e distribuir a carga elétrica total entre eles.

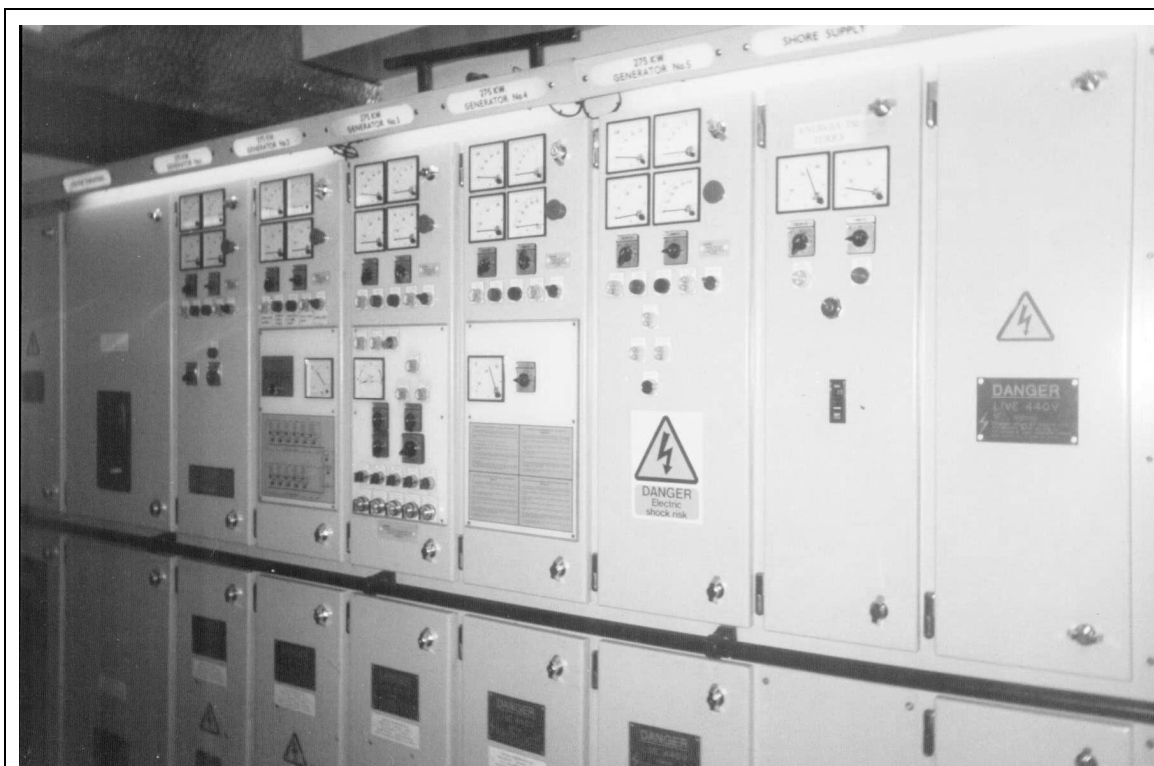


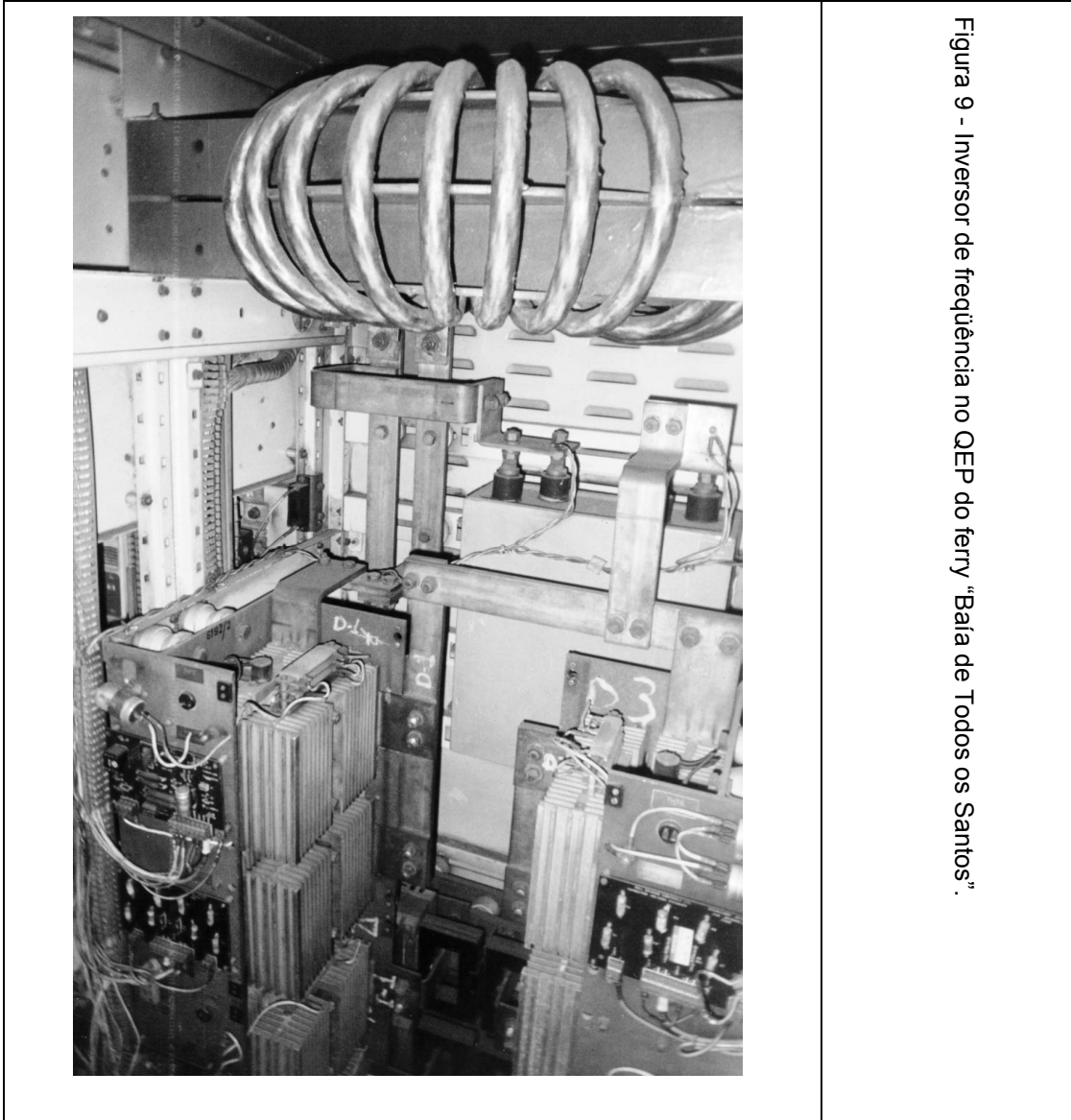
Figura 8 - vista parcial do QEP do ferry “Baía de Todos os Santos”.

A necessária distribuição da carga elétrica entre os geradores é feita pelo distribuidor de carga que é um produto da tecnologia da informação (IT). Alguns autores enquadram os distribuidores mais modernos como controladores lógicos programáveis (CLP ou PLC).

O distribuidor mantém a carga elétrica do navio dividida equilibradamente entre todos os geradores conectados em paralelo no barramento do QEP. Nas embarcações que possuem GEPs com capacidades diversas a distribuição de carga é feita proporcionalmente à capacidade dos geradores.

Desse modo fica evidente que o distribuidor de carga é um elemento essencial à propulsão nos navios com propulsão elétrica e vários geradores. Como todo equipamento de informática, o distribuidor de carga é vulnerável às variações e flutuações da energia. Normalmente, em vez de usar a rede de 220 volts CA do navio, o distribuidor recebe energia do sistema transitório em 24 volts CC. A energia do transitório vem dos carregadores de bateria e, na falta destes últimos, das baterias do navio.

A energia disponível no barramento do navio para os MEPs é retificada e depois encaminhada para um inversor (figura 9) que entrega a energia elétrica aos MEPs em 440 volts CA, 60 Hz. Tudo isso num sistema trifásico em “ Δ ”.



A transmissão de energia para os MEPs acima descrita, aparentemente tortuosa, se destina a impedir o surgimento dos harmônicos de frequência no barramento do QEP, harmônicos esses induzidos pela variação de carga nos MEPs, especialmente durante as manobras da embarcação.

A quantidade de MCPs (grupos geradores) em carga pode ser variada de acordo com a condição da embarcação e com a velocidade, de modo a manter os motores em funcionamento sempre na faixa de melhor desempenho e ótimo consumo de combustível.

O ferry “Baía de Todos os Santos” não tem leme. O seu sistema de governo emprega a rotação dos PODs em azimute de modo similar ao sistema Schottel descrito no início deste capítulo. Embora os PODs não girem até 360° como nos sistemas mais atuais, o emprego de quatro PODs, dois em cada extremidade, permite a embarcação dispensar os lemes e os grandes cilindros hidráulicos da máquina do leme.

O sistema de governo do ferry atua nas engrenagens dos PODs através do motor hidráulico e das engrenagens “steering planetary gear” e “steering spur gear” mostradas nas figuras 10 e 11. Uma bolina (skeg) instalada sob o POD auxilia o efeito direcional do conjunto. As unidades hidráulicas do sistema de governo (bombas) não precisam estar próximas ao motor, o que facilita a ocupação dos espaços disponíveis.

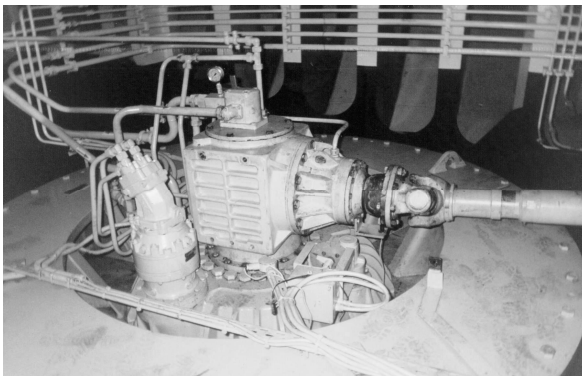


Figura 10 - um dos quatro PODs do ferry “Baía de Todos os Santos”, com a caixa da transmissão, mais o motor do sistema de governo. Visto de cima, dentro do navio.

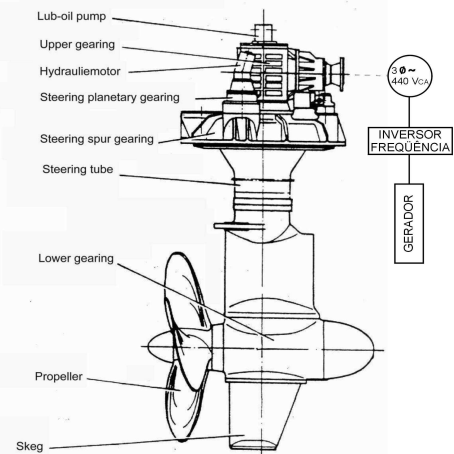
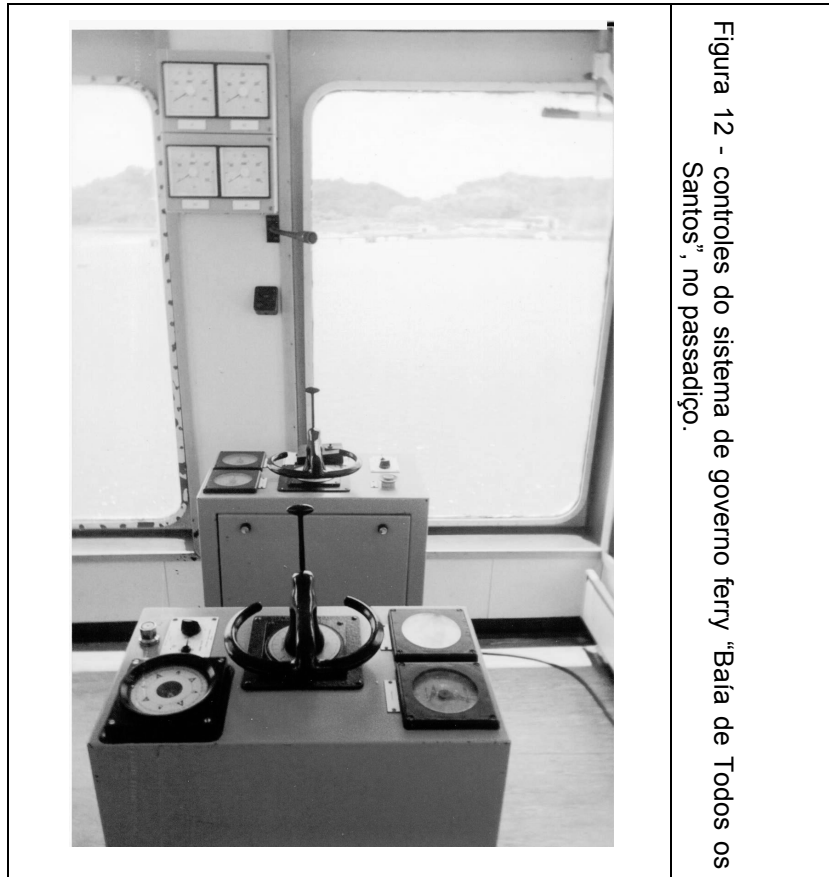


Figura 11 - desenho do POD do ferry “Baía de Todos os Santos”. O fornecimento de energia está indicado à direita do desenho.

Os controles do sistema de governo no passadiço, mostrados na figura 12, ilustram a ausência do leme tradicional com um timão. Eles controlam o giro azimuthal dos MEPs, à semelhança do sistema schottel.



CAPÍTULO IV

Inversores de Freqüência

O inversor de freqüência (figura 13) não é propriamente uma novidade tecnológica, mas o seu emprego a bordo é relativamente recente. Não era usado antes porque os motores de indução empregados nas praças de máquinas e conveses são de rotação constante ou têm velocidades preestabelecidas.

Entretanto, nos navios em que é empregada a propulsão elétrica, passou a ser necessário atender a maiores variações de carga e controles de velocidade mais precisos. Isso é necessário para manter a embarcação de apoio em posição estável junto a uma plataforma marítima, ou esta em relação ao local do poço petrolífero, ou uma embarcação de turismo perto de uma praia ou outro local turístico, tudo apesar da direção e intensidade do vento e do mar.

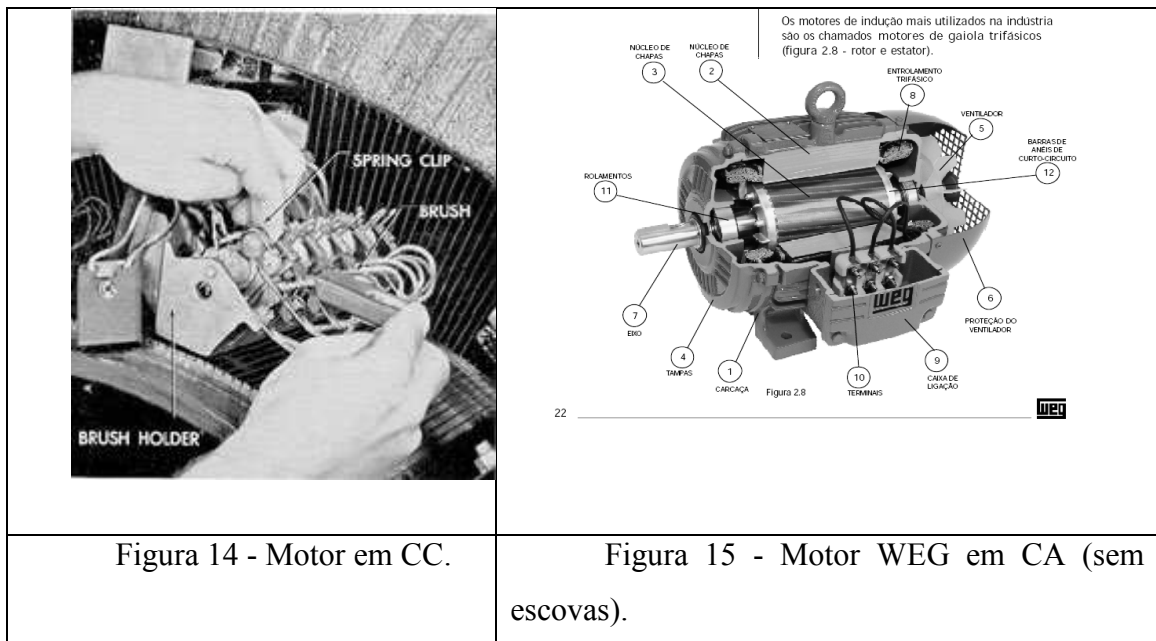


Figura 13 - Inversor de freqüência CFW 09 da WEG.

Os antigos rebocadores de apoio eram muito semelhantes aos portuários. Ambos, a título de ser mais equipado, possuíam apenas eixos propulsores duplicados, cada um acionado

por um MCP, e hélices de passo fixo, além do projeto de casco e leme desenvolvidos para melhorar a manobrabilidade. Não dispunham de qualquer hélice lateral (side thruster).

Para as EAM se manterem em posição, sem ferros, com a precisão necessária, os propulsores, laterais e longitudinais, devem ser acionados, rotação por rotação, em varias direções. Para isso, em algumas dragas e nos navios de socorro a submarinos, eram usados, no passado, motores elétricos em corrente contínua (CC), figura 14. Mas a constante necessidade de manutenção na comutação com escovas desses motores tornava a propulsão CC inaceitável para o mercado de petróleo, tanto para as EAM como para as plataformas autopropulsadas. O motor elétrico de indução, figura 15, em corrente alternada, impera a bordo dos navios, mas tem o seu ponto fraco na corrente de partida e no controle da velocidade. Isso o torna quase impraticável para a propulsão, se usados os antigos equipamentos de controle. Para cobrir esse ponto fraco é que entra o inversor de frequência como veremos mais adiante.



4.1– Controle de motores elétricos

Os sistemas de variação de velocidade tradicionais empregavam motores de indução como dispositivo primário de conversão de energia. Como sabemos esses motores quando ligados diretamente na rede de distribuição de energia elétrica possuem uma característica de velocidade constante. É assim que para se obter velocidade variável eram necessários outros dispositivos adicionais, que podiam ser:

- Variadores mecânicos
- Variadores hidráulicos
- Variadores eletromagnéticos

A variação mecânica da velocidade com polias é pouco empregada a bordo; ainda é usada em algumas serrarias. A variação hidráulica é largamente usada a bordo nos sistemas de governo como o leme e nos equipamentos de carga como guindastes e outros, mas tem manutenção mais difícil e o inconveniente dos vazamentos. Os variadores eletromagnéticos utilizam um sistema de discos acoplados a bobinas que podem ter o seu campo magnético variável, através de técnicas baseadas no princípio físico das correntes de Foucault, variando-se assim o torque (e também a velocidade) na saída do variador. Está em desuso a bordo, mas ainda pode ser encontrada em alguns guinchos e guindastes antigos.

4.1.1 – Formas de Partida

As formas de partida mais comuns dos motores elétricos podem ser:

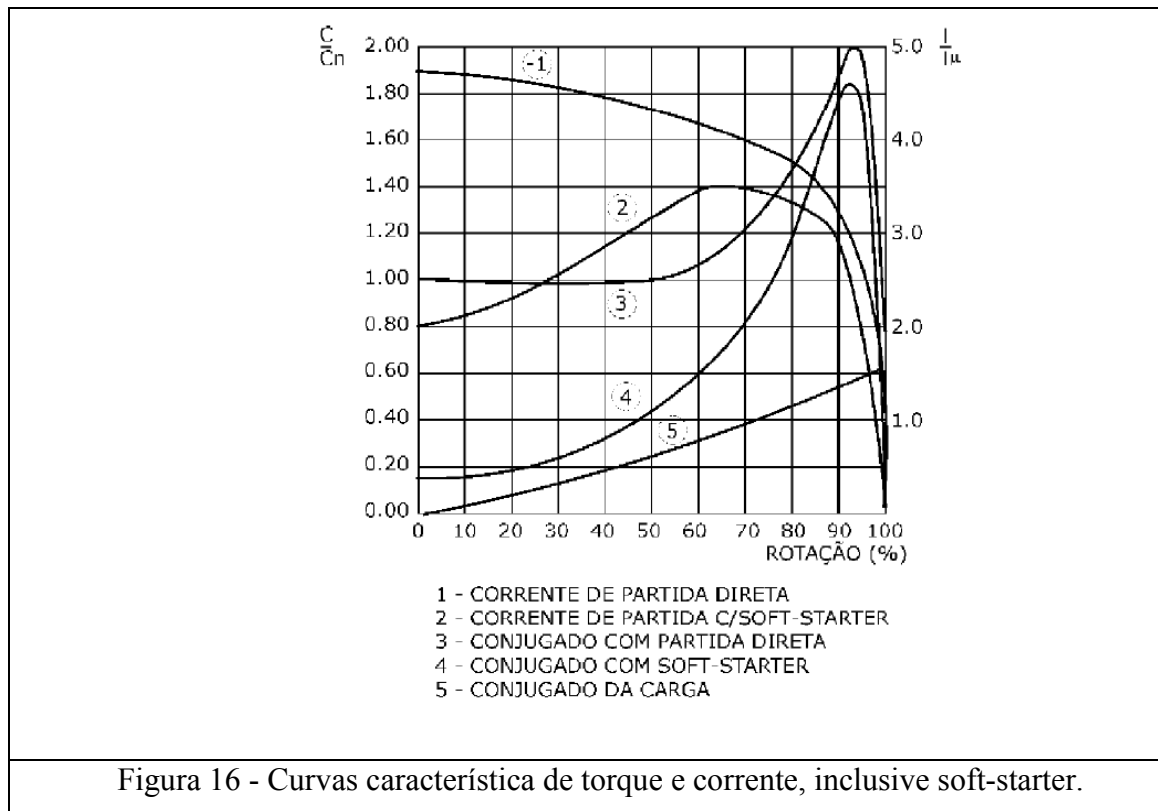
- Partida direta;
- Partida estrela-triângulo;
- Partida eletrônica (soft-starter).

A chave de partida a estado sólido (soft-starter) consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor. O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável no motor durante a aceleração. Este comportamento é, muitas vezes, chamado de partida suave (soft-starter). No final do período de partida, ajustável conforme a aplicação, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido à transição brusca, como ocorre com o método de partida por ligação estrela-triângulo. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida próxima da nominal e com suave variação, como desejado (ver figura 16).

Em épocas passadas, antes da popularização dos tiristores e diodos, esta última forma de partida era conhecida como “partida a transformador”, onde um autotransformador fazia o papel dos tiristores. A partida a estado sólido (soft-starter) será assunto de outra apostila, no futuro.

É importante notar a diferença entre variação de velocidade e formas de partida. É verdade que a forma de partida estrela-triângulo também é usada para permitir que uma máquina opere em mais de uma velocidade, mas essas velocidades são fixas. Esse arranjo é muito empregado a bordo nos guinchos de atracação, molinetes dos ferros, ventilações, pontes rolantes, etc. Nos equipamentos que têm grandes variações de carga e exigem controles de velocidade precisos e graduais, a partida estrela-triângulo não é uma boa solução. No seu lugar vêm sendo empregadas soluções hidráulicas, especialmente em guindastes, alguns cabrestantes e sistemas de governo, máquinas de leme inclusive.

Na propulsão de grandes embarcações a solução hidráulica não é exequível, embora se encontrem alguns propulsores laterais hidráulicos, de menor porte.



A seguir estão alinhadas algumas vantagens e desvantagens dos tradicionais sistemas de variação de velocidade e dos métodos de partida, todas expostas pela publicação da WEG.

4.2 – Vantagens e Desvantagens

Tabela Comparativa dos Sistemas de Variação de Velocidade Tradicionais

	<u>Polias Variadoras</u>	<u>Hidráulico</u>	<u>Eletromecânico</u>
Faixa de variação de velocidade	Pequena (1 a 4 máx.)	Grande	Média
Limite de potência	Baixo	Elevado	
Eficiência	Baixa	Baixo	Baixa
Custo	Baixo	Elevado	Baixo
Pontos fortes			Partida suave
Pontos fracos	Escorregamento Manutenção difícil	Vazamentos Manutenção difícil	

4.3 - Comparação dos métodos de partida

MÉTODO DE PARTIDA DIRETA:

Vantagens

- Menor custo de todas; Muito simples de implementar e alto torque de partida.

Desvantagens

- Alta corrente de partida, provocando queda de tensão na rede de alimentação. Em função disto pode provocar interferência em equipamentos ligados na mesma instalação;
- É necessário sobredimensionar cabos e contadores;
- Limitação do número de manobras/hora.

MÉTODO DE PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Vantagens

- Custo reduzido;
- A corrente de partida é reduzida a 1/3 quando comparada com a partida direta;
- Não existe limitação do número de manobras/hora;

Desvantagens

- Redução do torque de partida a aproximadamente 1/3 do nominal;
- São necessários motores com seis bornes;
- Caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente ao da partida direta;
- Em casos de grande distância entre motor e chave de partida, o custo é levado devido à necessidade de seis cabos.

MÉTODO DE PARTIDA SOFT-STARTER

Vantagens

- Corrente de partida próxima à corrente nominal;
- Não existe limitação do número de manobras/hora;
- Longa vida útil, pois não possui partes eletromecânicas móveis;
- Torque de partida próximo do torque nominal;
- Pode ser empregada também para desacelerar o motor;

Desvantagens

Maior custo na medida em que a potência do motor é reduzida

CAPÍTULO V

Propulsão em Corrente Alternada com MEP no POD

5.1 – Introdução

No início da década de 90 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. 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.

Azipod[®] é uma marca registrada da empresa “ABB Oy Marine”.

5.2 – Vantagens

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:

- 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, 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”.
- Devido à hidrodinâmica avançada, a unidade AZIPOD[®] possui excelente desempenho de campo de esteira (wake field).

5.3 – Sistema Elétrico e a Propulsão AZIPOD[®]

Na propulsão AZIPOD[®] o sistema elétrico do navio emprega vários grupos geradores conectados ao QEP. Esse QEP distribui energia aos utilizadores do navio, inclusive à propulsão AZIPOD[®].

Empregando vários grupos geradores, MCPs na maioria dos casos, ou TGs em algumas embarcações, torna-se possível planejar as atividades de manutenção, parar um gerador em viagem para serviços de manutenção e mesmo assim manter a embarcação em plena operação. No caso de grupos geradores a diesel, todos os motores podem ser idênticos, o que minimiza os estoques de peças sobressalentes. A quantidade de máquinas auxiliares também é muito reduzida.

Propulsão AZIPOD[®] (**A**zimuthing **P**odded **D**rive) é um sistema de propulsão elétrica que emprega uma unidade POD com capacidade de rotação em azimute até 360° e potências até 30 MW.

O sistema AZIPOD[®] consiste das unidades de propulsão AZIPOD[®], dos “ACS Series Marine Drive”, transformadores da propulsão, se necessário, sistema de controle e o sistema de energia com geradores e quadros elétricos (figura 17). Os motores de propulsão podem ser assíncronos ou síncronos, dependendo da aplicação.

O motor elétrico instalado no POD aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo e é capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, e, do mesmo modo, nas baixas rotações. Também podem ser usados valores maiores do que o máximo projetado (mantido), por exemplo, em navios quebra gelos.

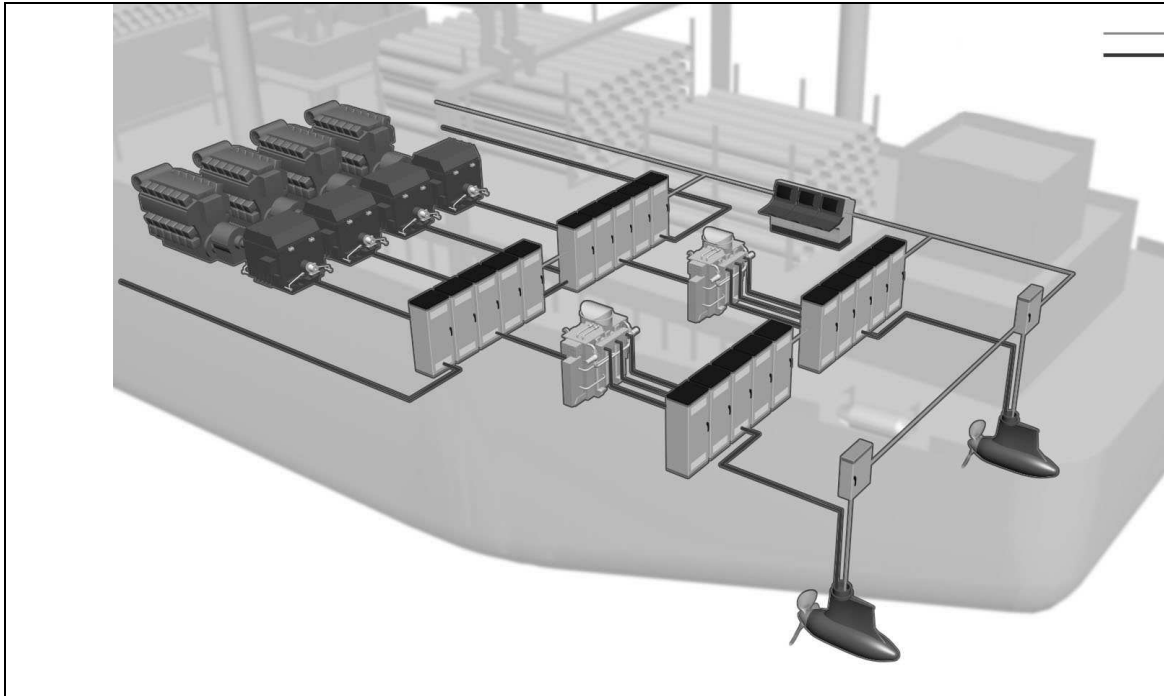


Figura 17 - Arranjo típico do sistema AZIPOD[®] e do sistema de energia. As linhas azuis representam circuitos de controle, as vermelhas as linhas de energia. O navio representado tem quatro GEPs iguais, o QEP, seccionado, por ante a ré dos GEPs, dois transformadores de propulsão, os quadros da propulsão e dois PODs com os motores elétricos da propulsão (MEPs).

O propulsor AZIPOD[®] proporciona uma excelente capacidade de manobra com ótimo torque, em qualquer direção, e permite uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice propulsor.

5.4 – Empregos

A propulsão AZIPOD[®] pode ser empregada em várias espécies de embarcações. Ela é ideal para navios de cruzeiro turístico e atende as necessidades de qualquer outra espécie de embarcação, bem como trás várias vantagens aos navios-tanque, quebra-gelos, porta containeres e vários tipos de ferry-boat.

Até o início do século XXI as unidades AZIPOD[®] têm sido instaladas em arranjos simples, duplos e triplos. A solução CRP AZIPOD[®] foi desenvolvida especialmente para embarcações RoRo, ferries e de carga.

Também existem unidades de propulsão AZIPOD[®] para navios quebra gelos e para embarcações onde o máximo “bollard pull” é uma característica fundamental. As unidades AZIPOD[®] também podem ser conjugadas com “nozzles”.

Após intenso trabalho de desenvolvimento a ABB lançou a nova propulsão CRP AZIPOD[®] (CRP=Contra Rotating Propellers), ilustrada na figura 18. Ela é uma solução competitiva para os porta-containers de alta velocidade e ferries. Nessa nova propulsão existe uma linha de eixo convencional e, por ante a ré dela, o AZIPOD[®] atua como um leme e um hélice de “contra-rotação”. Isso permite uma maior capacidade de manobra e redundância, quando comparado com embarcações que empregam as antigas linhas de eixo rígidas, além de eliminar uma das linhas de eixo.

Conforme demonstram os testes com modelos o CRP AZIPOD[®] tem uma eficiência hidrodinâmica muito maior se comparado ao navio com a convencional linha de eixo. Os ganhos totais são significativos se incluir nos cálculos, além da maior eficiência hidrodinâmica, as vantagens no arranjo da instalação elétrica. Para duas embarcações iguais aquela com propulsão elétrica precisa de menos potência, 10% aproximadamente, o que significa menor consumo de combustível e menos cilindros de motores para manter. Isso é ainda mais pronunciado quando a operação da embarcação tem um perfil variável. Também resulta a vantagem de empregar em outras destinações o espaço de bordo economizado com o AZIPOD[®].

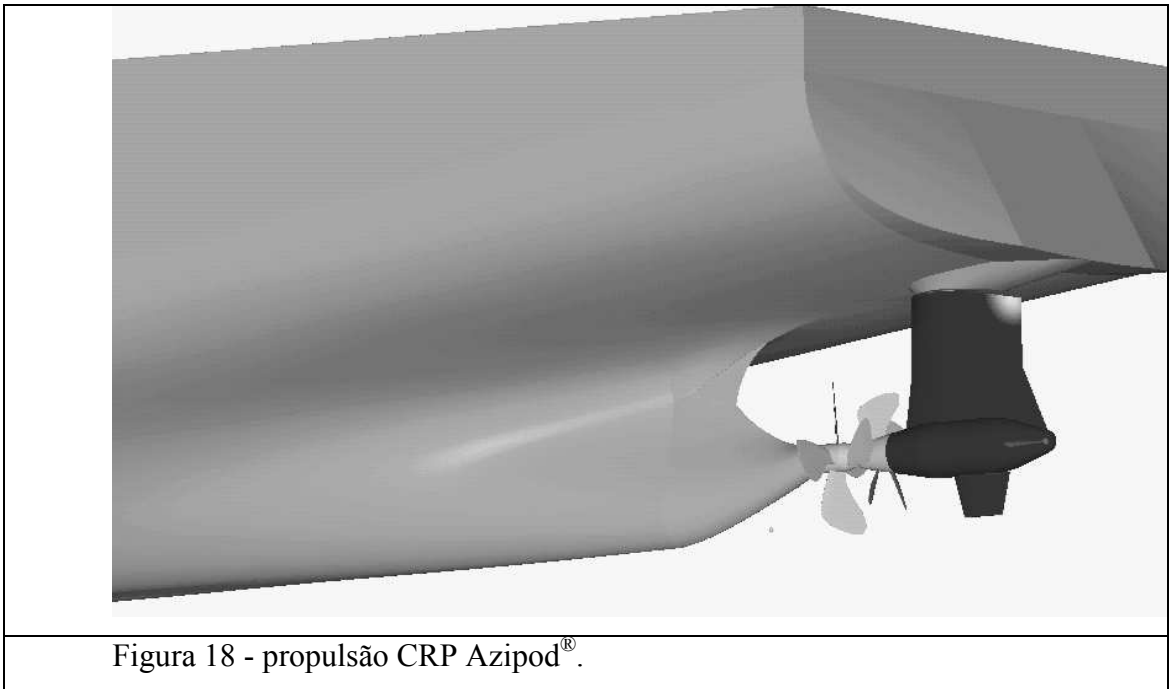


Figura 18 - propulsão CRP Azipod[®].

A figura 19 apresenta a propulsão AZIPOD[®] compacta. Ela é excelente para uma variedade de embarcações com potências entre 0,5 e 4 MW, como iates e pequenas embarcações de carga. Essa propulsão é modular e simples o que traz vários benefícios durante a construção da embarcação e também na manutenção durante a operação do navio. A entrega e instalação “just in time” é ideal com o sistema AZIPOD[®] compacto. Ele é fácil instalação e economiza espaço a bordo, bem como proporciona excelente capacidade de manobra.

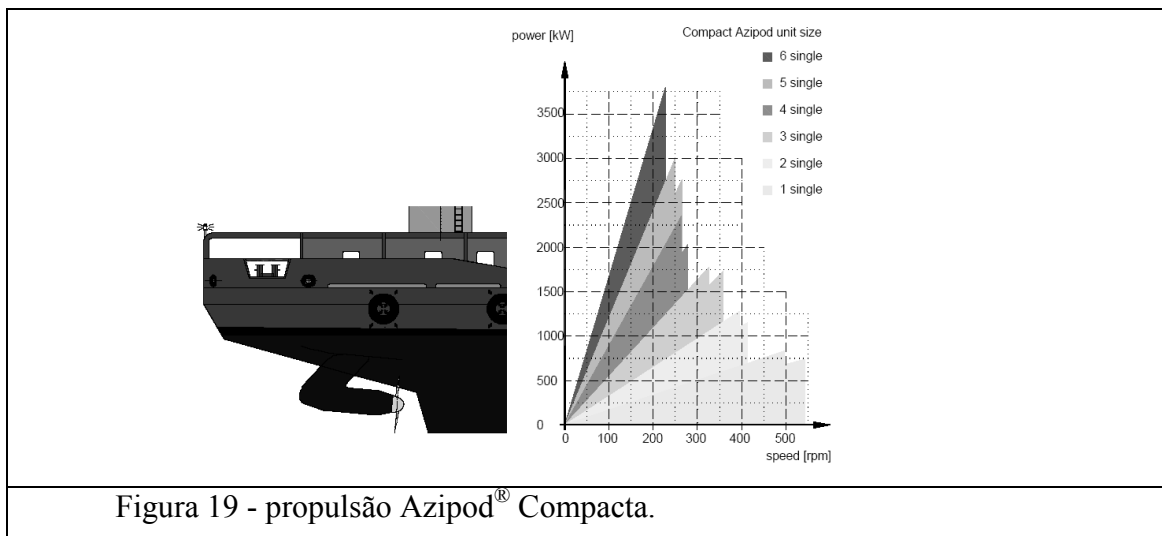
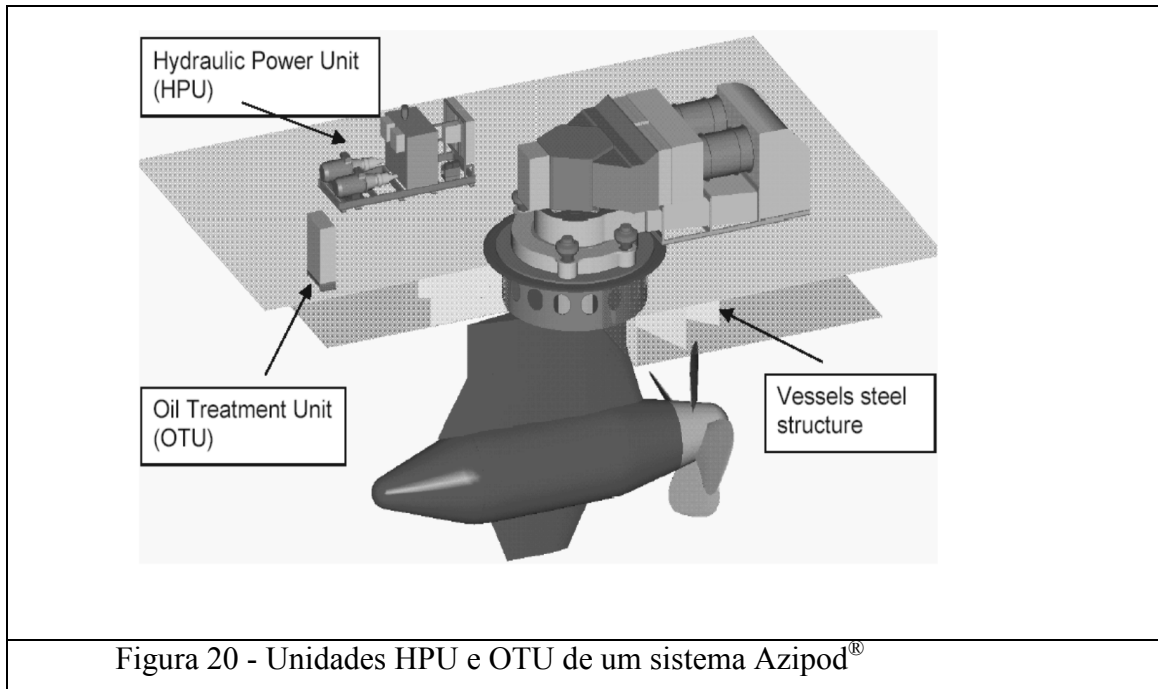
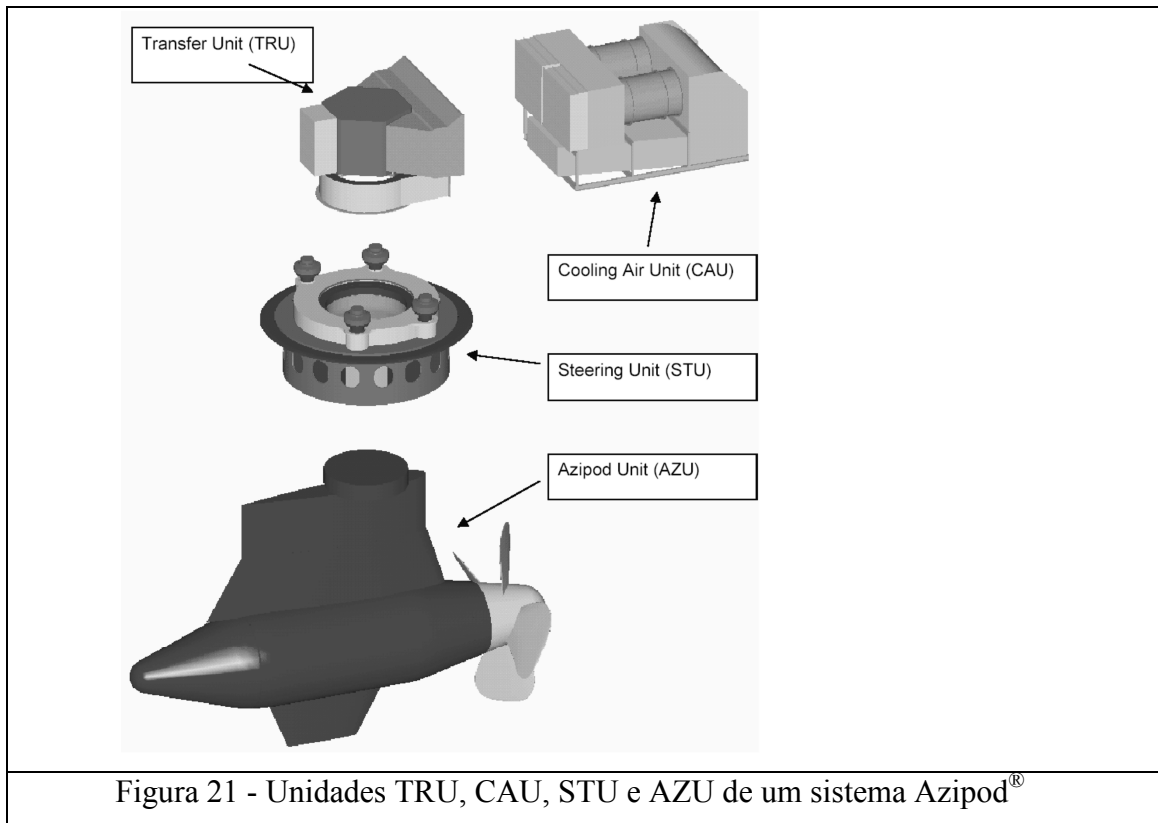


Figura 19 - propulsão Azipod[®] Compacta.

As figuras 20 e 21 a seguir apresentam as partes componentes da propulsão AZIPOD[®]. As partes principais totalizam sete unidades compreendendo módulos e sistemas auxiliares. As unidades são as seguintes:

- AZU –AZIPOD Unit
- STU – Steering Unit
- TRU – Transfer Unit
- CAU – Cooling Air Unit
- HPU – Hydraulic Power Unit
- OTU – Oil Treatment Unit
- AIU – AZIPOD Information Unit





CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente então, que a utilização deste sistema de propulsão é bastante específica. A instalação de projetos mais modernos de propulsão elétrica depende intimamente da atividade que a embarcação está destinada a realizar.

Os navios comuns não estão aderindo este sistema por um motivo básico: custo *versus* benefício baixo. Pois os mesmos ao saírem de um porto, traçam um rumo e navegam com toda força avante, não necessitando assim de freqüente manobra.

Já as embarcações de apoio a marítimo e portuário, navios de cruzeiro e balsas estão envolvidas em freqüentes manobras onde é preciso uma alta precisão e segurança. Por isso, a melhor solução para estas embarcações é a propulsão elétrica.

A evolução da propulsão elétrica se deve muito às necessidades das empresas de navegação. Este tipo de propulsão aliado com modernos sistemas de navegação oferecem precisão e rápida resposta da máquina.

ANEXO I

Exemplo Prático

Considere que o 2º OM esteja entrando de serviço as 16h00min na CCM do ferry Baía da Guanabara (BG). A embarcação tem quatro AZIPOD® com MEPs moveis, dois em cada extremidade. Cada MEP consome 500 kW. A geração de energia do navio pode ser feita com dez grupos motores – geradores, cada um com capacidade de 300 kW. Todos os geradores (GEPs) estão operacionais, mas não foram colocados em “standby”. Os acionadores dos GEPs nº. 1, 7 e 8 estão próximos ao limite das horas para grande revisão. Os acionadores dos GEPs nº. 2, 3, 4, 9 e 10 estão a meio caminho do limite. Os GEPs nº. 5 e 6 estão com o “horímetro zerado” após revisão em recente docagem.

O ferry BG está atracado na nova estação marítima de passageiros na altura da rodoviária do Rio de Janeiro. O estado do mar é “1” e o vento sopra com cinco nós entrando de NW. A previsão meteorológica informa que não deve ocorrer alteração nas condições atuais. No momento inicial do presente exercício, 16h30min de um dia de semana de verão, o BG está embarcando carros e passageiros com destino a São Sebastião no litoral de São Paulo. A corrente de maré está de enchente até às 18h46min, quando a embarcação deverá suspender com destino a São Sebastião, na maré alta.

Na CCM do navio o 2º OM observa que estão em operação todas as unidades de renovação de ar e exaustões, dois MCPs, uma caldeira auxiliar, os sistemas hidróforos de água, uma unidade hidráulica do sistema de governo, uma unidade hidráulica do sistema das rampas de carga, a bomba de serviços gerais e algumas iluminações, dentre outros equipamentos.

Com base na situação acima descrita, responda às questões abaixo:

1. Que documento do ferry BG, elaborado pelo estaleiro com base na Convenção SOLAS e aprovado pela classificadora, o 2º OM pode consultar para determinar

se a capacidade de geração de energia em uso no momento está de acordo com a situação do navio?

R: O navio possui o “Plano de Balanço Elétrico da Instalação” aprovado pela sociedade classificadora em nome da autoridade marítima onde se encontram discriminados os valores de carga e a quantidade e geradores em barra para cada situação.

2. Que documento do ferry BG, elaborado pela empresa com base no Código ISM e aprovado pela classificadora, o 2º OM pode consultar para determinar se a capacidade de geração de energia em uso no momento está de acordo com a situação do navio?

R: O 2º OM pode consultar o Procedimento da Manutenção, Corretiva, ou o Plano Contingente em caso de avaria em um gerador. Esses procedimentos e planos são exigidos pelo ISM Code (código internacional de gerenciamento da segurança), Convenção SOLAS capítulo IX.

3. Que documento do ferry BG, elaborado pelo Comandante com base no Código ISM, pode ser consultado para determinar se a capacidade de geração de energia em uso no momento está OK?

R: O Livro de Ordens do Comandante.

4. Considere que esses documentos dos itens anteriores não estão disponíveis e descreva os equipamentos do ferry BG que deverão ser retirados e/ou colocados em operação pelo 2º OM durante o quarto de serviço na CCM de 16 - 22 horas. Justifique as modificações propostas na sua solução.

R: Considerando a presente situação do navio, o mesmo precisará de todos os quatro AZIPODs® para a manobra de atracação e também das cargas elétricas referentes à iluminação, pois passará do momento do pôr-do-sol, e cargas relativas à segurança da navegação.

De todos os dez grupos motores-geradores, sete deles poderão ser usados sem problemas e os outros três deverão ser usados com cuidado, pois se aproximam de sua revisão geral.

Primeiramente, no momento de desatracação, não poderá ser retirado nenhum equipamento previsto no SOLAS.

Para a manobra será necessário o uso dos quatro AZIPODs®. Em consequência, além dos 2 que estão em barra, terão que entrar os outros oito geradores para atender toda a demanda durante a manobra na saída do navio.

Quando o navio iniciar a manobra poderá ser desligado o sistema hidráulico das rampas de carga e com ele tirar só um dos três geradores com maior “horímetro”, mas, por segurança deixa-se até terminar a manobra.

E, logo após, deverá ser tirado de funcionamento os dois AZIPODs® de vante, para em seguida tirar os geradores perto da revisão geral e mais um gerador com mais “horímetro”.

Caso haja uma situação de emergência, deverá ter uma redução na rotação dos motores elétricos de propulsão (limitação de velocidade).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – DAWES, Chester L. Curso de Eletrotécnica. Editora Globo. Porto Alegre. 1978.
- 2 - IBRAHIM, Eden Gonzalez. Propulsão Elétrica de Embarcações. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. Fevereiro de 1998. 1ª edição.
- 3 – IBRAHIM, Eden Gonzalez; SILVA, Osvaldo Pinheiro de Souza. Sistemas de Energia Elétrica dos Navios Mercantes. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. Março de 2003. 2ª edição.
- 4 - www.weg.com.br – Site da WEG Motores Elétricos. Acesso em 20/03/2006.
- 5 - www.schottel.de – Site da Schottel Sistema de Propulsão Elétrica. Acesso em 16/03/2006.

