

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA

**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAS DA MARINHA MERCANTE –
EFOMM**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A BORDO DOS NAVIOS
MERCANTES**

GUSTAVO GAUDERETO SENA

RIO DE JANEIRO

2014

GUSTAVO GAUDERETO SENA

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A BORDO DOS NAVIOS MERCANTES

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

ORIENTADORES:

Msc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Msc OSM Osvaldo Pinheiro Souza e Silva

Rio de Janeiro

2014

GUSTAVO GAUDERETO SENA

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A BORDO DOS NAVIOS MERCANTES

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

Data da Aprovação: ___/___/___

Orientadores: Msc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Msc OSM Osvaldo Pinheiro Souza e Silva

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho a todos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram na minha vida.

Deixe o futuro dizer a verdade, e avaliar cada um de acordo com seus trabalhos e suas conquistas.

(Nikola Tesla)

RESUMO

Este trabalho trata sobre a geração de energia elétrica e a importância da mesma a bordo dos navios mercantes, explicando as formas e vantagens da energia elétrica e como ela é gerada.

Também são expostos alguns dos diferentes tipos de geradores que existem explicando desde a sua composição física e como é dado o seu funcionamento. São explicados os principais grupos geradores que são utilizados a bordo com seus diferentes acionadores e sistemas auxiliares necessários para seu correto funcionamento.

E por último cita algumas das formas alternativas de geração de energia elétrica a bordo, visando um sistema sustentável e com menor emissão de poluentes, que é uma das grandes preocupações nos dias de hoje.

Palavras-chave: Energia elétrica. Geradores. Grupos Geradores.

ABSTRACT

This work deals with the generation of the electrical power and the importance of it on board of merchant ships, explaining the ways and advantages of the electrical power and how it is generated.

Also it is shown some of the different kinds of generators that exist explaining from its physical composition and how it works. It is explained the main gensets that are used on board with their different triggers machines and the auxiliary systems needed for their right operation.

And finally mentions some of the alternatives ways of generation of electric power on board, aiming at sustainable system and with lower emission of pollutants, which is a major concern nowadays.

Key-words: Electrical power. Generators. Gensets.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista em corte de um gerador CC	15
Figura 2. Ponte retificadora.....	15
Figura 3. Gerador CA síncrono	17
Figura 4. Sistema de recuperação térmica tipo STG.....	21
Figura 5. Sistema de recuperação térmica conjugado tipo TES.....	22
Figura 6. Gerador de eixo com acoplamento e regulador de velocidade.....	24
Figura 7. Trimarã Solar.....	30

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 A ENERGIA ELÉTRICA	10
1.1 Energia elétrica	10
1.2 CC e CA.....	10
2 GERADORES	13
2.1 Parte estrutural dos geradores.....	13
2.2 Geradores CC.....	14
2.3 Geradores CA.....	16
3 GERADORES A BORDO	18
3.1 Diesel geradores.....	18
3.2 Turbos Geradores.....	20
3.3 Geradores de Eixo	22
3.4 Sincronização	25
4 ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	27
4.1 Células de combustível	28
4.2 Energia solar.....	29
4.3 Energia eólica	30
Considerações finais	31
Referências Bibliográficas	32

INTRODUÇÃO

A Marinha Mercante empenha uma grande importância na economia mundial, e importante, tanto como a carga transportada, também são os navios. Em se tratando das embarcações atuais, para que haja um melhor desempenho dos mesmos, é imprescindível a aplicação de novas tecnologias e máquinas elétricas, dando então uma atenção especial para a geração de energia elétrica, tendo em vista que os navios modernos são totalmente dependentes de energia elétrica.

Com a aplicação de novas tecnologias, equipamentos mais sofisticados é necessário a utilização de energia elétrica, tanto direta ou indiretamente. Estas novas aplicações tecnológicas incluem a automação, que acaba por melhorar a operação da embarcação e facilita o trabalho humano. Tal fato implica em uma maior quantidade de consumidores elétricos nos navios, justificando a importância da capacidade de geração ser cada vez mais sofisticada e potente de forma viável para os armadores.

Serão apresentadas as diferenças entre os tipos de energia gerada e os diferentes tipos de geradores, mostrando algumas das suas aplicações e vantagens. Detalhar-se-á os principais grupos geradores a bordo de acordo com seu funcionamento e dos sistemas auxiliares que ele necessita.

CAPÍTULO 1

A ENERGIA ELÉTRICA

1.1 Energia elétrica

A eletricidade se tornou a principal fonte de luz, calor e força utilizada no tempo moderno. Desde as mais simples atividades como assistir a televisão ou navegar na internet são possíveis devido à energia elétrica. Verifica-se, ainda, que os grandes avanços tecnológicos que hoje se vivencia somente são alcançados devido a energia elétrica e as diferentes formas de utilizá-la.

A descoberta das cargas elétricas por Tales de Mileto, na Grécia antiga observando o surgimento de uma força de atração quando certos tipos de materiais eram atritados, foi fundamental para a evolução tecnológica dos tempos modernos.

A energia elétrica pode ser definida pela capacidade de uma corrente elétrica realizar trabalho. Esta forma de energia pode ser obtida através da transformação de diferentes tipos de energia como a química, térmica, mecânica, etc.

Ela é obtida através da aplicação de uma diferença de potencial entre dois pontos de um condutor, gerando uma corrente elétrica entre seus terminais. Hoje em dia a energia elétrica é a principal fonte de energia do mundo, podendo ser transportada de maneira mais fácil com menores perdas e com altos valores de rendimento ao ser transformada em outras energias sendo essa sua principal função e também funcionar dentro de equipamentos eletrônicos.

Quase tudo no navio depende da energia elétrica, desde a refrigeração de alimentos, funcionamento da cozinha, equipamentos de navegação, iluminação, sistema de governo, ventilação, alarmes, automação e controle, etc, sendo então indispensável para o funcionamento do mesmo.

1.2 CC e CA

Quando se fala de corrente elétrica deve se definir se está é corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA)

Uma corrente é considerada contínua quando o fluxo dos elétrons passa pelo fio do circuito sempre em um mesmo sentido, ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa, circulando no sentido do pólo positivo para o pólo negativo, se considerarmos o sentido convencional da corrente, ou circula do pólo negativo para o pólo positivo, se considerarmos o sentido da corrente dos elétrons. A maior parte dos circuitos eletrônicos trabalha com corrente contínua, sendo as pilhas e as baterias os melhores exemplos de onde encontrar este tipo de corrente.

A corrente alternada é caracterizada por um fluxo alternado no sentido dos elétrons, os quais mudam de direção de acordo com a frequência em que foi gerada. Tal variação permite aos transformadores de uma linha de transmissão receberem a energia elétrica produzida e modificar as características da mesma, tensão e corrente, permitindo que essa percorra uma maior distância.

Um dos problemas com o sistema de corrente contínua é que nele não há alternância, não tendo efeito nos transformadores e assim não é possível realizar a elevação ou abaixamento de tensão por esses instrumentos e se há muitas perdas quando sua tensão é baixa. Por esse motivo, as tensões de CC não eram utilizadas em transporte de energia elétrica de grandes distâncias, porém com o desenvolvimento da eletrônica de potência, o aumento da demanda e dos centros de cargas, tornou a proposta da transmissão de corrente contínua em alta tensão viável, como é visto na usina de Itaipu. Porém na maioria das vezes a corrente contínua é usada em pilhas e baterias ou para percorrer circuitos internos de aparelhos eletrônicos, como o de um computador.

A corrente alternada que é mais utilizada a bordo do que a corrente contínua, devido a diversos fatores, como:

- A facilidade de ela ficar em uma tensão mais alta que a contínua possuindo baixas perdas de energia quando transmitida a grandes distâncias.

- Pode ter sua tensão aumentada ou reduzida através de máquinas chamadas de transformadores, que a partir dos efeitos eletromagnéticos faz essa transformação sem muitas perdas, facilitando a utilização da corrente alternada em um numero maior de consumidores. Como exemplo, em algumas embarcações a tensão gerada é de 440V, e essa é reduzida para 220/110V quando é para alimentar o sistema de iluminação.

- Os geradores de CA são mais simples e tem um melhor rendimento que os geradores de CC.

- A maioria dos motores elétricos presentes a bordo é de CA, pois são relativamente mais simples, robustos e tem melhor rendimento que os motores CC.
- Quando necessário a utilização de corrente contínua, a corrente alternada pode facilmente ser transformada em CC por intermédio de um sistema retificador.
- Tem menor custo no geral e precisa de menos espaço.

CAPÍTULO 2

GERADORES

Gerador é uma máquina elétrica capaz de manter uma diferença de tensão entre dois pontos a partir da transformação de outras formas de energia, um exemplo seria a energia mecânica.

Essa máquina dependendo da forma de corrente elétrica que produz pode ser classificado como de corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC).

2.1 Parte estrutural dos geradores

Os geradores são máquinas rotativas que possuem componentes móveis e componentes fixos, que irão compor o rotor e o estator, respectivamente.

O estator é constituído de uma carcaça que tem como função principal fixar a máquina a uma base e assim sustentar as partes do circuito magnético e esforços mecânicos de acordo com a reação desenvolvida pelo rotor. Suas extremidades são fechadas pelas tampas que protegem o interior do gerador de alguns agentes externos que podem entrar na máquina e também apoiam o rotor. Um de seus lados é vazado para que um eixo, apoiado por mancais, atravesse-o e assim permitindo-o a receber energia mecânica de uma fonte externa permitindo a rotação do rotor.

Um pacote de laminas de um material ferromagnético compõe o circuito magnético do estator que pode ser de peças polares ou de núcleo. Nas ranhuras ou em volta das peças polares do circuito magnético é colocado um enrolamento de um material condutor, que é onde a tensão será induzida.

O Rotor tem um núcleo com boa permeabilidade magnética, fazendo então parte do seu circuito magnético, construído sobre um eixo que recebe a energia de rotação de uma fonte externa. O núcleo também tem um enrolamento de material condutor, como exemplo o cobre, e esses são designados de enrolamento de campo o qual tem seus contatos elétricos estabelecidos pelos coletores, que recebem nomes específicos de acordo de como o campo é estabelecido.

2.2 Geradores CC

Geradores de corrente contínua são chamados de dínamos. Sua estrutura e funcionamento difere em algumas partes dos geradores CA. Nesse, o enrolamento de campo se encontra no estator alimentado em corrente contínua para assim produzir um campo unidirecional estacionário. Por dentro do estator, o rotor, ao rotacionar por esse campo eletromagnético criado pela corrente contínua, corta as linhas de campo e assim uma força eletromagnética alternada é induzida nele, de acordo com a lei de Faraday.

Para que a saída da corrente seja contínua um conjunto comutador/escovas é colocado entre os terminais do enrolamento da armadura (rotor), provendo assim uma corrente contínua pulsante. Como na maioria das aplicações da corrente contínua é melhor utilizar uma tensão sem muitas variações, se aumenta o número de comutadores para que a defasagem da corrente seja mínima, dando então na saída uma tensão contínua quase perfeita.

Embora os comutadores sejam vulgarmente aplicados nos geradores de corrente contínua (CC) com até vários milhares de kW de potência têm algumas limitações. As escovas e os segmentos de cobre têm uma grande tendência a se desgastar e provocar centelhas. Nas máquinas de grandes dimensões, as suas escovas têm de ser substituídas de forma regular e a sua superfície pode ter de ser ocasionalmente reparada.

A eficiência das máquinas de corrente contínua é limitada pela queda das escovas gerada pela resistência do contato deslizante. Estas perdas podem ser de vários volts, tornando a geração CC de baixa tensão pouco eficiente. A fricção da escova sobre o comutador também absorve um pouco da energia da máquina.

Finalmente, a densidade de corrente na escova e a tensão máxima em cada um dos segmentos do comutador são limitados. Máquinas de corrente contínua muito grandes (com vários MW de potência) não podem ser construídas com comutadores. Sendo assim as principais máquinas elétricas nos navios de hoje em dia, motores e geradores, são de corrente alternada.

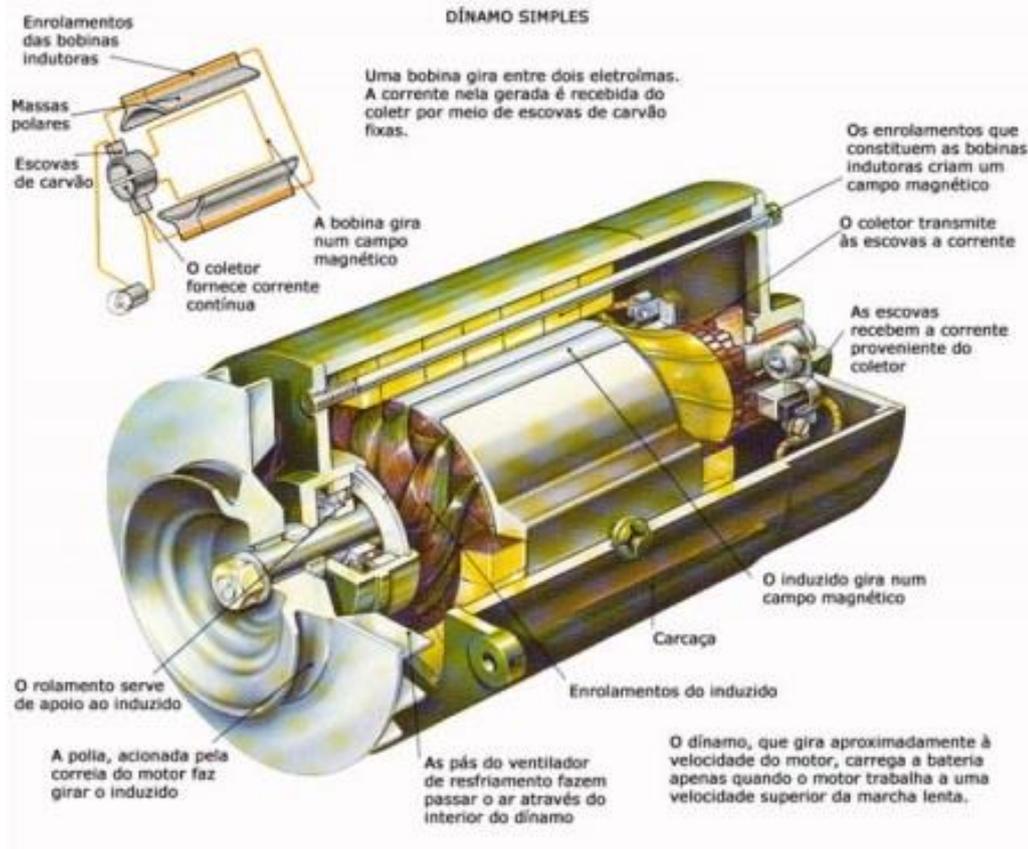


Figura 1. Vista em corte de um gerador CC

Então com o avanço da eletroeletrônica com a própria corrente alternada foi possível suprir a necessidade de tais sistemas, com a utilização de transformadores e sistemas retificadores, possibilitando, por exemplo, a utilização da automação, circuitos eletrônicos como o GMDSS, luzes de emergência e os carregadores de bateria. Quando se há uma avaria e não se é possível alimentar esses circuitos por meio da retificação, a bordo ainda se encontra uma bancada de baterias e acumuladores, que fazem parte do sistema de energia transitório, para fornecer energia aos seus circuitos fundamentais.

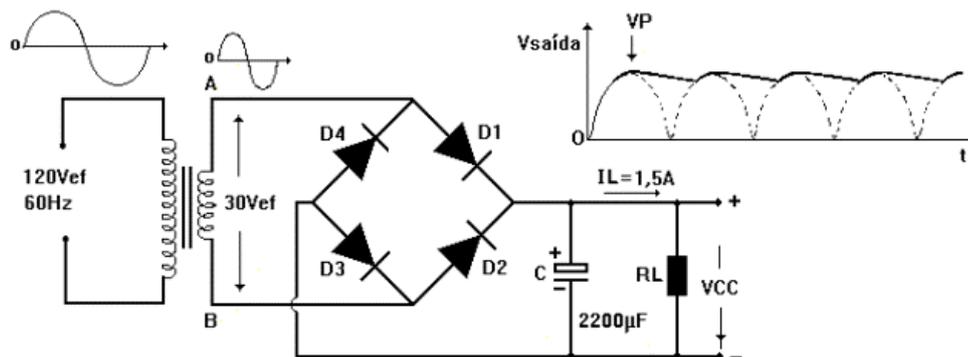


Figura 2. Ponte retificadora

2.3 Geradores CA

Os geradores de corrente alternada são divididos em dois grupos: Síncronos e de indução. O primeiro tem seu rotor alimentado com CC e seu estator possui enrolamentos simétricos que quando percorridos pelo campo do rotor em movimento, produzem tensões em seus terminais. O mais comum é se encontrar esses enrolamentos de forma que a tensão a ser gerada seja do tipo trifásico, que é a utilizada nos navios mercantes.

Semelhante ao gerador CC, o eixo rotaciona pela aplicação de um torque de uma fonte de energia mecânica. Quando ligado a uma rede elétrica, sua tensão é gerada de acordo com a frequência de rotação e pelo número de polos. Com o movimento relativo entre o campo magnético do rotor, a intensidade do campo magnético nos enrolamentos do estator irá sofrer uma variação no tempo, e assim, uma tensão será induzida nos terminais dos enrolamentos do estator. A diferença entre a primeira e a segunda máquina explicada é a ausência de um comutador para manter a direção da corrente na mesma direção.

A corrente elétrica utilizada para alimentar o campo (enrolamento do rotor) é denominada corrente de excitação. Quando o gerador está a funcionar de forma isolada de um sistema elétrico (ou seja, o sistema estará sendo alimentado exclusivamente pelo gerador síncrono) a forma de onda e a frequência da tensão deste sistema serão ditados pelo gerador e a excitação do campo irá controlar diretamente a tensão elétrica gerada. Quando o gerador está conectado a um sistema/rede elétrica, que possui diversos geradores interligados, a excitação do campo irá controlar a potência reativa que a máquina vai entregar ao sistema podendo eventualmente controlar indiretamente a tensão local.

Tomando como exemplo um gerador trifásico as suas bobinas do estator podem ser ligadas em estrela ou em triângulo. A primeira apresenta um neutro que pode ser aterrada, e como em aplicações práticas é quase impossível ter um equilíbrio perfeito entre as fases, então uma corrente circulará por esse neutro. Nas tensões trifásicas é possível com o neutro possuir duas tensões, uma tensão fase-fase e outra fase-neutro, podendo assim atender uma gama maior de utilizadores sem a necessidade de um transformador.

O gerador de indução apresenta um estator semelhante ao primeiro citado, porém seu rotor é composto por barras condutoras curto-circuitadas e sem possuir conexões com o estator, possuindo então uma construção mais simples e pouca necessidade de manutenção.



Figura 3. Gerador CA síncrono

CAPITULO 3

GERADORES A BORDO

Para que o processo de geração de energia elétrica ocorra, como já foi dito no ultimo capítulo, é preciso uma máquina que promova energia mecânica para o eixo do gerador, e para isso é necessário uma máquina que converta diferentes tipos de energia (térmica, química, eólica, etc.) em energia de cinética de rotação.

Em terra temos como exemplo as hidroelétricas, onde a força da água faz girar as turbinas e rodar um eixo de um grande gerador, que assim gera a energia elétrica desejada alimentando toda uma cidade ou região.

Porém nas embarcações não se é possível abastecer com essa energia pelo fato de não ter a possibilidade de que os cabos de energia possam chegar até os navios quando esses não estão no porto. Outro problema seria que a maioria dos navios necessita de uma grande quantidade de energia elétrica e em sua grande maioria 440V 60Hz trifásica (podendo variar de acordo com o país de construção do navio) e essa custaria um valor elevado para o armador.

Sendo assim, os navios são equipados com alternadores e com diferentes tipos de acionadores para prover a energia em quantidades necessárias para suprir todo o navio em suas operações e em casos de emergência de uma forma viável, segura e barata para o armador sempre atendendo as regras estabelecidas pela SOLAS.

3.1 Diesel geradores

Um dos principais tipos de acionadores dos geradores de bordo são as máquinas de combustão interna a diesel, chamados de MCAs. Dependendo do tipo de navio e de utilizadores se encontra um numero variado desses, podendo haver dois ou até mais que oito. Esse último exemplo pode ser encontrado caso a embarcação possuir muitos utilizadores (navios de passageiros) ou ter um sistema de propulsão elétrica.

Geralmente esses motores são de médio à grande porte, podendo ser de médias ou altas rotações. Compostos de todos os sistemas que um motor dessas características precisa, como lubrificação, arrefecimento, admissão e exaustão de gases e de partida.

Quando há variação da tensão e/ou frequência gerada, pode se ter mal funcionamento de alguns equipamentos e até avarias sérias nos dispositivos mais sensíveis. Relacionado a esse fato, as qualidades da energia gerada deve sempre ser analisadas para que possa ser corrigido antes que se ocorra um problema.

O regulador de velocidade instalado nos motores tem como objetivo manter a velocidade de trabalho da máquina, sendo assim, as alterações que ocorrem com a corrente absorvida pela carga de um gerador, causa alterações diretas nos motores atuadores. Quanto maior a corrente, será necessário um torque mais elevado para rotacionar o rotor do gerador resultando em um maior consumo de diesel. Com situações extremas de carga os efeitos podem ser mais drásticos caso não se tenha um monitoramento e controle da tensão e frequência, pois o gerador sofre uma queda de tensão exigindo ainda mais potência da máquina motriz.

Para controlar essas flutuações os navios modernos possuem sistemas de automação com seus vários elementos (sensores, transmissores, controladores, atuadores, etc.) que poderão atuar tanto no motor como na excitatriz do alternador para manter os parâmetros da geração elétrica constantes de acordo com o necessário.

Um exemplo é o AVR (Regulador Automático de Voltagem) que de acordo com a rotação do motor e carga nos barramentos, altera a tensão de excitação de forma a garantir que a tensão de saída do gerador esteja no nível desejado e que os valores limites (corrente e tensão) dos componentes do sistema não estejam violados.

De acordo com a convenção SOLAS, uma fonte de energia elétrica de emergência deve ser provida para o navio, podendo ser um banco de baterias de acumuladores ou um Diesel Gerador de Emergência (DGE).

Esse Diesel Gerador necessita de estar sempre pronto para a operação e não deve estar sujeito a falhas, visto que quando o navio ficar desenergizado esse acaba se tornando um ambiente de grandes riscos e somente dependendo dos bancos de baterias que alimentaram a energia transitória. Portanto sempre deve ser feita a manutenção e verificação do mesmo. O DGE tem que ser capaz de suportar toda a

carga ligada ao Quadro Elétrico de Emergência (QEE), que alimenta as partes essenciais para a navegação com segurança, por um tempo mínimo de acordo com as Regras da Convenção SOLAS dependendo somente de seu tanque de combustível, o qual deve sempre estar cheio e ainda deve ser capaz de colocar o navio em operação a partir da condição de apagado, acionando os sistemas para partida dos meios de geração de energia elétrica principal da embarcação.

Diferente dos MCAs, o DGE não se encontra na sala de máquinas por motivos de segurança, para caso ocorra uma avaria grave ou até perda total de tal, não seja comprometido o sistema de emergência e assegurar os sistemas de navegação mínimos para evitar acidentes e perdas maiores. Assim devem funcionar de forma totalmente independente dos sistemas da praça de máquinas, como a pressão de ar, água de arrefecimento ou pelas bombas de combustíveis.

Além desses fatores já citados, a fonte de energia de emergência, nesse caso o DGE, deve seguir as seguintes atribuições:

- a) Partir e alimentar os circuitos de emergência automaticamente em até 45 segundos;
- b) Usar combustível com mais de 43° C de ponto de fulgor;
- c) Poder operar com até 22,5° de banda e até 10° derrabado ou abicado;
- d) Partir sem aquecimento com até 0° C;
- e) Partida automática com no mínimo três tentativas;
- f) Segundo dispositivo de partida com mais três tentativas em um espaço de 30 minutos, a menos que a partida manual seja efetiva.

3.2 Turbos Geradores

Os turbos geradores tem o mesmo princípio de funcionamento variando somente pelo fato da máquina motriz ser uma turbina, que pode ter vários tipos de projeto que utilizam diferentes fluídos de trabalho tendo como os principais exemplos as turbinas a vapor, turbinas a gás e turbinas hidráulicas.

A mais comum a bordo dos navios mercantes é a turbina a vapor, que para o funcionamento precisa de um sistema de geração de vapor a alta pressão, que é constituído por uma caldeira, que é um trocador de calor que produz vapor a partir da energia térmica do combustível, ar e do fluido vaporizante (nesse caso a água).

As caldeiras podem ser flamatubulares ou aquatubulares. A primeira os gases quentes passam por dentro dos tubos que estão imersos no invólucro que contem a água que será evaporada já as caldeiras aquatubulares a água circula por dentro dos tubos que constituem o trocador de calor e os gases oriundos da combustão ficam pelo lado de fora.

Normalmente as aquatubulares alcançam maiores valores de pressão e em alguns navios são utilizadas tanto para a geração, aquecimento e até para propulsão e com isso consomem uma grande quantidade de combustível. Para evitar os gastos desnecessários geralmente pode ser instalada uma caldeira combinada que pode funcionar como aquatubular e caldeira de recuperação que utiliza os gases de descarga do motor de combustão principal (MCP).

A caldeira de recuperação aproveita o calor da exaustão do MCP para as demandas de aquecimento e de energia elétrica, podendo atingir uma economia de 5 a 7% em plena capacidade do MCP. Essa aplicação é possível com a utilização do vapor gerado para transferir energia para uma turbina que por fim está instalada em um gerador de alta eficiência.

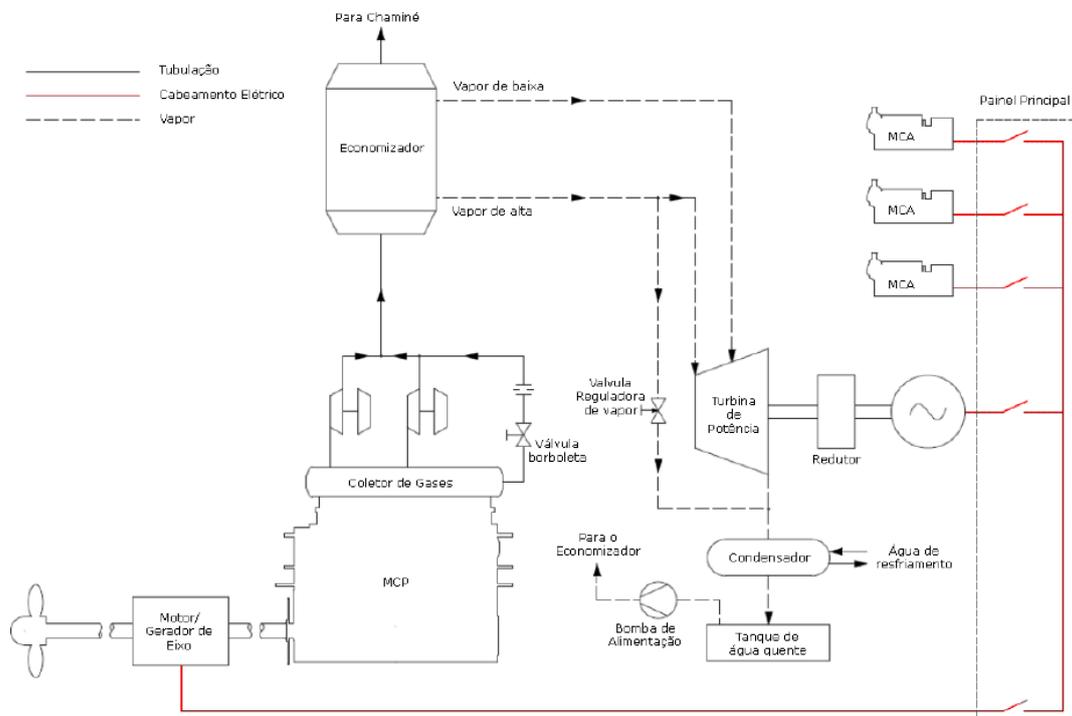


Figura 4. Sistema de recuperação térmica tipo STG

Outra forma de gerar energia através de turbinas e recuperação da energia desses gases é através de uma turbina de potência (PTG) que utiliza os gases para

impulsionar a turbina, dando energia cinética de rotação para tal que está acoplada em um gerador conectado no barramento elétrico principal, podendo alternativamente alimentar um motor elétrico do eixo propulsor para assim adicionar potência de propulsão.

A combinação das duas turbinas (conhecida como recuperação de calor combinada - TES), uma de potência movida pelos gases de escape e no mesmo eixo outra movida pelo vapor produzido pela caldeira de recuperação, permite o melhor rendimento de recuperação do sistema, podendo atingir até 10% de economia em plena capacidade.

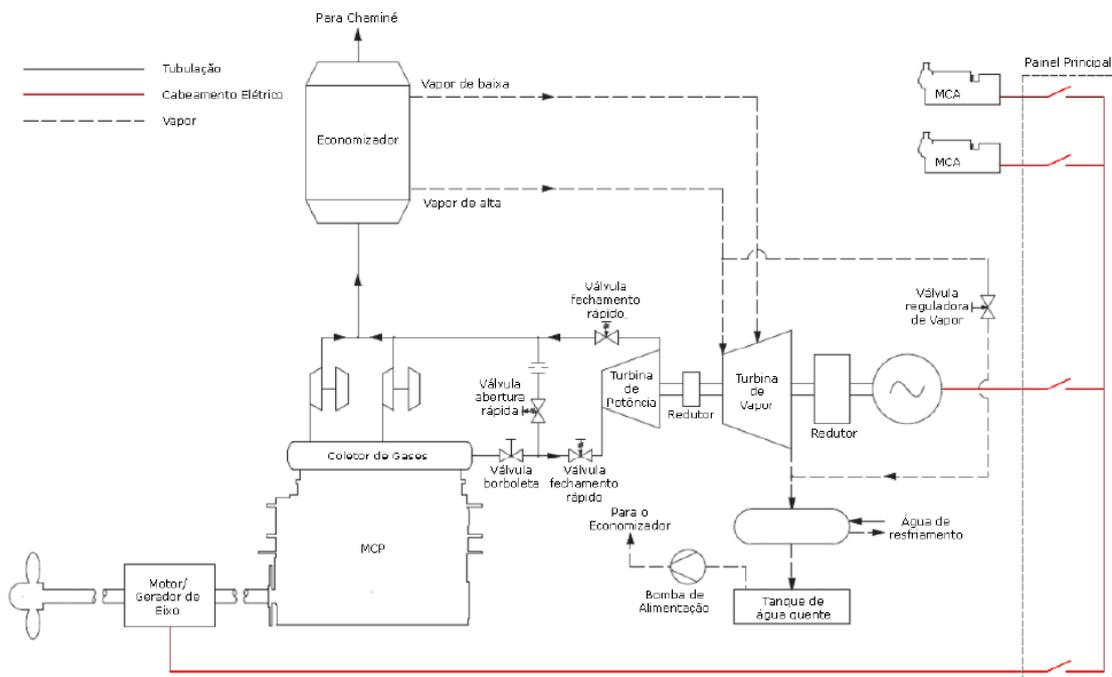


Figura 5. Sistema de recuperação térmica conjugado tipo TES

3.3 Geradores de Eixo

Para aproveitar energia do motor de combustão principal, alguns navios costumam instalar um gerador de eixo em seus motores, que aproveita a energia cinética de rotação do mesmo para gerar grandes quantidades de energia elétrica para o navio. Em alguns casos esse gerador de eixo pode também ser projetado para trabalhar como motor com o objetivo de dar mais potência a propulsão do navio em casos de necessidade, puxando energia direta do barramento principal das outras máquinas geradoras presentes.

Os geradores de eixo são máquinas geradoras acopladas ao eixo propulsor do navio por meio de engrenagens entre o eixo ou acoplamento (“embreagem” ou “clucht”) que pode ter um regulador de velocidade.

Dependendo da carga elétrica e da capacidade do gerador de eixo, a potência de propulsão pode ser reduzida a até 8%, devido à carga elétrica e as perdas com as transmissões com o gerador. Devido a isso esse tipo de gerador é considerado vantajoso em navios que não necessitem de ter grandes rotações, porém desaconselhável em embarcações de alta rotação devido a possibilidade de ter uma queda considerável da potência do MCP.

Trabalham somente em apenas uma única faixa de velocidade e em um sentido de rotação, devendo estar sempre desacoplados fora dessas condições. Normalmente operam na faixa de 80% e 100% da rotação do eixo propulsor, quase no limite superior de potência.

Quando acionados diretamente pelo eixo, a RPM do motor permanece constante pelo seu próprio regulador de velocidade (como nos MCAs) e para variações na propulsão do navio, uma hélice de passo variado é requerida. Esse tipo de sistema é conhecido como “PTO”. No entanto, quando são acionados pelas engrenagens, acoplamento e dispositivo regulador de velocidade, não é necessário a velocidade constante do eixo propulsor, pois o conjunto transmissor regula a velocidade para a correta utilização do equipamento.

EXEMPLO DE GERADOR DE EIXO DEPENDENTE DO EIXO PROPULSOR

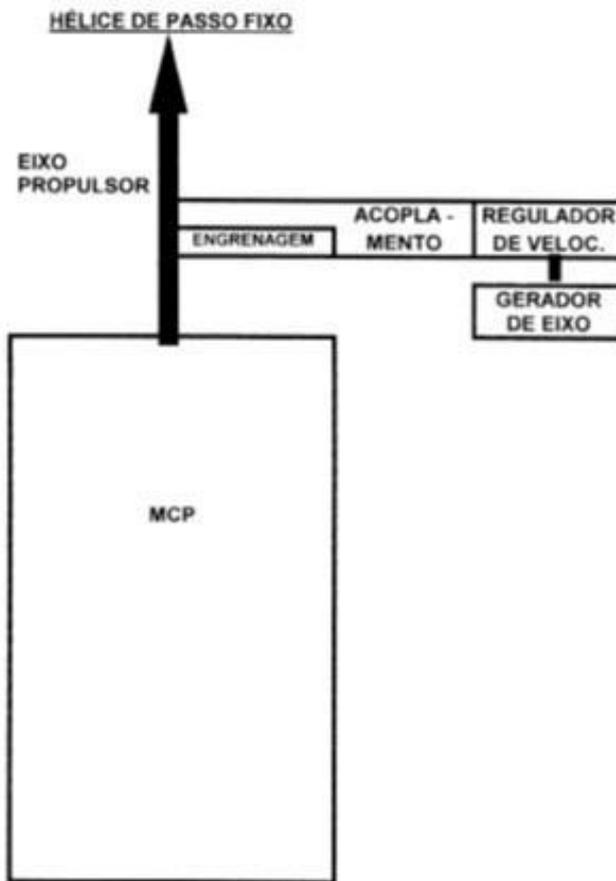


Figura 6. Gerador de eixo com acoplamento e regulador de velocidade

O gerador de eixo encara a restrição de somente ser acionado quando o MCP estiver operando, em alguns casos, em faixas restritas de potência, porém quando acionados pode se observar varias vantagens, como:

- a) Ocupa menor espaço, pois é instalado próximo ao motor;
- b) Como dependem do MCP, são confiáveis;
- c) Não necessita de sistemas auxiliares como nos outros tipos de geradores;
- d) Baixo custo de reposição de peças;
- e) Manutenção no geral simples e de baixo custo;
- f) Alta durabilidade;
- g) Redução de combustível utilizado.

Porém apresenta algumas vulnerabilidades que devem estar sempre sendo monitoradas quando navegando a máxima potência e apenas com o gerador de eixo em barra, devido a possibilidade de se apagar o navio, algumas vezes, pelos seguintes motivos:

- a) Necessidade súbita de manobra do navio com o leme carregado para um bordo aumentando a carga no MCP;
- b) Algum cilindro em sobrecarga com avaria de injetor, acionando a proteção “slow down”;
- c) Um caturro maior do navio;
- d) Outras seguranças que atuam o “slow down” da máquina.

3.4 Sincronização

Para se ter uma maior confiabilidade com o sistema de geração de energia dos navios se é utilizada uma operação que coloca os geradores em paralelo, sendo necessário em casos como quando é exigida uma carga maior dos geradores, ou há a necessidade de uma manutenção em um dos geradores, ou mesmo como segurança contra alguma sobrecarga.

Então é utilizado, em certos momentos, duas ou mais fontes geradoras de energia elétrica em paralelo sem ocasionar um curto-circuito e danificá-las.

Para isso é preciso se fazer uma operação de sincronização com as fontes geradores de energia, possuindo a mesma tensão, sobre a mesma frequência e defasagem.

Um dos sistemas que auxiliam para a ligação de um gerador trifásico em paralelo com outro já em rede, pode ser composto de três lâmpadas sinalizadoras, que quando estiverem todas apagadas, indicam que os sistemas a serem ligados se encontram com o mesmo nível de tensão, frequência e estão em fase. Quando há diferença de tensão, as lâmpadas ficarão acesas de acordo com o diferencial de tensão. Quando há diferença entre as frequências, as lâmpadas acendem e apagam com velocidade e sentido de acordo com essa diferença.

Os geradores em sincronia, trabalhando juntos, devem possuir um sistema de controle individual que garanta o controle do nível de tensão e da frequência gerada.

Para realizar a sincronização, devem-se executar as seguintes etapas:

- a) Ajustar o nível de tensão;
- b) Acertar a sequência de fase;
- c) Corrigir eventual defasagem/frequência.

As lâmpadas de sincronização tem uma indicação para cada etapa:

- a) Se as lâmpadas piscam alternadamente, é necessário acertar a sequência de fase;
- b) Se a luminosidade das três lâmpadas é intensa, a defasagem entre as fases do gerador e da rede está próxima a 180° . Se as lâmpadas acendem com luminosidade fraca, o gerador e a rede estão quase em fase;
- c) Quando as lâmpadas estiverem completamente apagadas, o gerador e a rede estão em fase, o gerador pode ser ligado em paralelo.

Para acertar as fases, invertem-se duas das fases do gerador. Para acertar a defasagem, ajusta-se a velocidade do motor que fornece força motriz, devendo esse procedimento ser realizado de modo que as três lâmpadas pisquem juntas e vão diminuindo sua intensidade até que se apaguem completamente.

Depois de ligada a rede, o gerador fica amarrado eletromagneticamente a ela e qualquer alteração na força motriz não atinge mais a frequência e sim a potência disponibilizada. No momento em que o gerador está pronto para ser conectado a rede, o ideal é que a corrente absorvida por ele seja a menor possível. Quanto melhor a qualidade da sincronização, menor corrente é absorvida pelo gerador e ela entra em flutuação, caso não houver necessidade de potência.

Esses procedimentos devem sempre ser observados, pois podem ocasionar vários danos se ligados à rede fora da mesma sequência de fase, ou se não estiver em fase.

Nos sistemas mais modernos, a forma de sincronização já é feita a partir de um sistema eletrônico que verifica o momento de sincronização exata das fontes e pode automaticamente realizar a conexão dos mesmos.

CAPÍTULO 4 ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como já apresentado, para a geração de energia elétrica é necessário a utilização de atuadores que em sua maioria consomem combustível de origem fóssil (MCAs, Caldeiras para as turbinas, MCP, turbinas a gás, etc.). Os combustíveis que comumente são consumidos nessas instalações são o óleo combustível pesado ou óleo diesel marítimo.

O emprego de combustíveis fósseis deve ser analisado dando ênfase em duas questões. A primeira é relacionada diretamente com os interesses dos armadores, se referindo as despesas com combustíveis no custo operacional de um navio. Esta influência depende, evidentemente, do preço dos combustíveis derivados do petróleo.

Um exemplo que mostra o quão significativo esse fator de custo dos combustíveis é, pode ser usado como exemplo um motor diesel de 60 MW, aplicando na propulsão de um navio. Adotando um consumo específico de 170g/kWh, o motor consumirá 10,2 t/h e o custo diário pode atingir valores perto de USD 140.000, valor que dá a importância no custo operacional do navio.

A segunda questão relevante relacionada ao emprego dos combustíveis fósseis é o problema ambiental. O emprego de óleos pesados causa poluição do ar devido à emissão de óxidos nitrosos, óxidos sulfurosos e gás carbônico.

Os impactos ambientais que são causados pelo transporte marítimo são objetivos de diversas pesquisas, e com o foco de diminuir-los, estão sendo impostas restrições sobre a emissão de gases poluentes.

Com esses fatores citados, se pode observar que é então exigida a realização de estudos com a finalidade de redução do emprego desses combustíveis, que pode ser alcançado de duas formas: redução da demanda de energia a bordo, e emprego de fontes alternativas de energia. Serão abordadas agora diferentes formas de geração de energia elétrica, através de fontes renováveis que visam diminuir a poluição e os custos com combustíveis fósseis nas embarcações.

4.1 Células de combustível

As células de combustível são reatores de estado estacionário que, em princípio, funcionam como uma bateria. É fundamentado por Rose (2009) que a diferença em relação a uma bateria, é que uma célula de combustível não se extingue nem necessita de recarga. Produz energia em forma de eletricidade e calor enquanto é abastecida de combustível (H₂) e oxigênio do ar. Ela consiste em dois eletrodos, localizados em cada lado de um eletrólito. O oxigênio entra por um desses eletrodos e o hidrogênio pelo outro, gerando eletricidade, água e calor.

O combustível hidrogênio entra pelo ânodo e o oxigênio do ar entra na célula pelo cátodo. Estimulado por um catalisador, o átomo de hidrogênio se separa em um próton e em um elétron, que tomam caminhos diferentes até o cátodo. O próton passa pelo eletrólito. Os elétrons criam uma corrente que pode ser utilizada antes que regressem ao catodo, onde se reúne novamente com a molécula de hidrogênio e oxigênio formando a molécula de água.

Um “reformador de combustível” pode ser encontrado em alguns sistemas de célula de combustível, possibilitando a utilização do hidrogênio contido em qualquer hidrocarboneto, como o gás natural, metanol e até a gasolina. Como a célula de combustível não depende da combustão, as emissões são bem menores que os processos de combustão de combustíveis mais limpos.

No setor marítimo é recente a aplicação de células de combustível, possuindo poucos representantes. Ainda não há nenhuma instalação de propulsão ou mesmo auxiliar de grande porte disponível, mas é a promessa de solução para o futuro no médio prazo, quando a tecnologia estiver com custos mais acessíveis e melhor desenvolvidos.

Outras vantagens potenciais das células de combustível incluem a redução de custo de manutenção, de assinatura acústica, de assinatura de localização dos navios, de gases nocivos, do visual no radar devido à redução da pluma das chaminés. Também podem permitir maior autonomia devido à diminuição do consumo, além de grande flexibilidade do projeto do navio.

Um exemplo de aplicação das células de combustível já pode ser vista em alguns navios. O navio de apoio offshore Viking Lady dispõe de células de combustível de 320 kW, que é usada como gerador elétrico integrado em seu

sistema elétrico auxiliar. Outra é a embarcação de passageiros ZemShip, com capacidade para 100 passageiros com comprimento de 25 m e boca de 5 m. Possui propulsão híbrida, constituída por duas unidades de células de combustível tipo PEM da Proton com 48 kW/cada e uma bateria de chumbo/gel para oferecer duas vezes mais eficiência que um navio padrão com propulsão diesel.

4.2 Energia solar

Utilizando a energia do sol é a grande alternativa do futuro, sendo um recurso praticamente inesgotável. Existem duas principais formas de captação da energia solar: energia solar foto-térmica através dos coletores soles, e energia solar fotovoltaica através de células fotovoltaicas que convertem a luz em eletricidade.

O rendimento de conversão para uma condição ideal de irradiação de pico de 1000 W/m^2 é muito pobre, podendo ser aproveitada apenas 10% deste valor. Então mesmo considerando a área total de um navio de grande porte, a instalação produziria uma baixa potência. Além disso, o aproveitamento da energia solar é variável, dependendo das condições climáticas e alternância do dia e da noite.

Por ser um recurso que está disponível na natureza a custo zero, ele pode e deve ser usado como um sistema complementar de suprimento de energia dos navios.

Na figura é apresentado um exemplo de um Trimarã Solar, construído para emissão zero de poluentes. A embarcação tem comprimento de 37m e capacidade para 600 pessoas, e velocidade até 6 nós usando apenas energia solar.



Figura 7. Trimarã Solar

4.3 Energia eólica

Os geradores eólicos permitem a utilização da energia eólica, mas necessitam convertê-la em energia elétrica para aproveitamento prático na propulsão ou sistemas auxiliares do navio.

Podendo também ser chamado de turbinas de vento, o gerador eólico tem sido muito usado em aplicações terrestres e oceânicas, em regiões de ventos fortes. Nos navios podem ser montados na vertical e a armação pode girar para atender ao sentido predominante dos ventos, ou no sentido horizontal e nesse caso podem atender aos ventos de qualquer direção sem ter que girar a armação. O tipo de montagem vertical é mais silencioso e eficiente, por esta razão é o tipo mais comumente instalado.

Considerações finais

O objetivo do trabalho foi explicar de uma forma simples como ocorre a geração de energia elétrica de uma embarcação, apresentando os seus diferentes processos. Para isso foi apresentando as formas de obtenção de energia elétrica e suas vantagens, o funcionamento dos diferentes tipos de geradores e os principais acionadores a bordo.

Foi complementando no trabalho uma parte sobre a geração de energia sustentável, através de mais ecológicos com a substituição ou redução da quantidade de derivados do petróleo, visando a diminuição da emissão de poluentes que são nocivos para o meio ambiente.

Por fim, o conteúdo apresentado conclui o objetivo do trabalho, que é dar uma visão da parte de geração elétrica nos navios mercantes.

Referências Bibliográficas

COSTA, Jesse Werner Costa; POPPIUS, Eduardo Bertil; IBRAHIM, Éden Gonzales. **Sistemas Elétricos Marítimos**, Volumes 1, 2 e 3. Rio de Janeiro, 2008.

FILHO, Gilberto Dória do Valle. **Avaliação das Instalações de Máquinas em Navios Visando Redução do Uso de Combustível Fóssil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

JUNIOR, Geraldo Carvalho do Nascimento. **Máquinas Elétricas, Teoria e Ensaio**s. São Paulo: Érica Ltda. 2011. 4ª edição.

MOREIRA, Edson Teixeira. **Capacidade de Geração de Energia a Bordo e Reserva da Energia Prevista**. Rio de Janeiro: CIAGA-EFOMM, 2013.