

7. Conclusões e perspectivas

A principal vantagem da utilização do transporte marítimo é o elevado rendimento térmico dos seus motores frente aos demais modais. A queda de eficiência térmica acarreta maior consumo de combustível e maior geração de fuligem. Para estudar o comportamento destes motores, alguns modelos de valor médio encontrados na literatura foram descritos e utilizados para simular o rendimento térmico sob torque transiente.

A modelagem clássica permite uma análise do rendimento térmico a partir da pressão de combustão e da pressão do ar de alimentação. A medição direta permitiria a determinação da eficiência em tempo real, contudo, o custo envolvido e a durabilidade dos sensores impedem esta abordagem.

Modelos que utilizam funções de transferência completas foram empregados e o parâmetro ganho termodinâmico foi utilizado para modelar a variação de rendimento térmico. Esta redução resultou em um maior tempo de resposta da variável controlada, isto é, a rotação do motor, do que com o ganho termodinâmico original, que é aquele ganho calculado a partir dos dados de desempenho de um motor real.

Especificamente, uma redução de 5% no ganho termodinâmico provocou um aumento de 4% na abertura das bombas injetoras e um aumento no tempo de recuperação da rotação do motor em 6 s após a incidência de uma perturbação. Para um equipamento que opera sob demanda de carga transiente, este maior intervalo de tempo sugere redução no intervalo de tempo entre as manutenções dos cilindros.

Similarmente foi empregado um modelo algébrico da literatura que utiliza a iteração da razão ar combustível com um parâmetro de eficiência da combustão para cálculo da pressão média efetiva em um motor de 11 MW. Como o modelo original não apresentava regulador de velocidade, nem meios de avaliação do rendimento térmico, este foi modificado para receber uma função de dependência entre abertura das bombas injetoras e a rotação do motor, e os parâmetros de um motor real de 17 MW. A simulação da aceleração deste motor apresentou um tempo total de 43 s desde uma rotação inicial de 66,1 rpm, até sua rotação de 100 % de potência, 83 rpm. Na simulação da aceleração, o valor

de rendimento térmico atingiu 48%, o que é compatível com o valor observado na prática.

De maneira a permitir a análise do rendimento térmico e dos parâmetros dos sub sistemas termodinâmicos sob ação de torque transiente do estado de mar, um modelo algébrico próprio foi implementado, o qual é dotado de regulador de velocidade PID. Neste modelo, o rendimento térmico foi alterado através da redução da pressão média efetiva em 5%, o que resultou em um aumento do índice das bombas injetoras de 5,3%. Devido ao aumento da temperatura do gás de descarga, a rotação do turbo compressor aumentou em 500 rpm.

De maneira a ajustar o modelo às condições reais, parâmetros como rotação do motor, pressão de ar de alimentação e rotação da turbina, foram coletados a bordo por um sistema de aquisição de dados e posteriormente tratados. A frequência de flutuação desses parâmetros permitiu definir a frequência real a que um motor está submetido durante a operação e também constatar que o tempo de resposta do turbo não influi na estabilidade da pressão de ar de alimentação.

Estes resultados experimentais foram então utilizados no ajuste do torque transiente no modelo desenvolvido.

Os valores medidos apresentaram uma frequência de rotação do motor, 1,327 Hz, compatível com a rotação de operação de 79,6 rpm. A frequência dominante na rotação da turbina foi de 20 Hz, enquanto a frequência do fluxo de ar de alimentação encontrada foi de 120 Hz, resultado do produto da frequência de funcionamento do turbo pelo número de cilindros do motor (6).. A frequência do torque transiente foi de 0,06 Hz com amplitude de 4,2 Nm/rpm² no coeficiente do hélice.

Quando comparados aos valores calculados pelo modelo implementado, somente a rotação do motor apresentou concordância satisfatória.

Os demais parâmetros mostraram frequências discrepantes, mas próximos nos valores médios. Uma análise mais detalhada dos motores propulsores, requer a descrição da dinâmica dos cilindros e dos fluxos de massa de ar e gás nos seus reservatórios e nos condutos que os conectam.

O modelo teve sua pressão média efetiva reduzida para simular a degradação do rendimento térmico. Inicialmente, o comportamento do modelo foi estudado sem a incidência do torque transiente. Foi observado, que uma redução de 10% na pressão média efetiva correspondeu a uma redução de 5% no rendimento térmico, e a um aumento de consumo de combustível em 11%.

Nas duas situações propostas de redução de rendimento térmico, isto é, pela redução do ganho termodinâmico em modelos de controle e pela redução de pressão média efetiva em modelos algébricos-termodinâmicos, os resultados mostram que o índice de bombas injetoras aumentam na mesma ordem de grandeza (117 traços) para 5% de redução do ganho termodinâmico, e 10% para a redução da pressão média efetiva.

Em ambos os tipos de modelo a resposta sob torque transiente apresentou um atraso de resposta de até 6 s.

Campanhas de aquisição de dados deverão ser realizadas durante manobras do navio e sua navegação com maiores solicitações de torque transiente.

O sistema de aquisição de dados deverá passar por modificações tanto no cabeamento como na possível instalação de filtros fixos de sinal. Também deve ser incluído um sistema de medição das pressões de combustão e na entrada do turbo.