

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

DISCIPLINA: MÁQUINAS TÉRMICAS - 2017/02

PROF.: MARCELO COLAÇO

PREPARADO POR GABRIEL ROMERO (GAROMERO@POLI.UFRJ.BR)

6. Turbinas a Vapor:

a. Ciclo de Rankine (sem e com superaquecimento)

6.a.1. Uma planta de potência a vapor opera em um ciclo Rankine com vapor saturado a 3,0 MPa na saída da caldeira. A pressão de exaustão da turbina para o condensador é igual a 10 kPa. Calcule o trabalho específico e o calor transferido em cada componente e a eficiência do ciclo.

6.a.2. Considere uma planta de energia solar que opera em um ciclo Rankine ideal utilizando água como fluido de trabalho. Vapor saturado deixa o coletor de energia solar a 175°C, e a pressão no condensador é 10 kPa. Determine a eficiência térmica do ciclo.

6.a.3. Uma planta opera em um ciclo Rankine com a água na caldeira a 3,0 MPa e a maior e menor temperatura do ciclo sendo 450°C e 45°C, respectivamente. Calcule a eficiência da planta e a eficiência do ciclo de Carnot que opera entre os mesmos limites de temperatura.

6.a.4. Uma planta de potência a vapor opera em um ciclo Rankine ideal no qual a pressão mais alta do ciclo é de 5 MPa e a pressão mais baixa é de 15 kPa. Na exaustão da turbina o vapor deve possuir um título de no mínimo 95% e a potência gerada na turbina deve ser de 7,5 MW. Determine a temperatura do fluido de trabalho na saída da caldeira e a vazão mássica de água no ciclo.

6.a.5. Vapor entra em uma turbina de uma planta de potência a 5 MPa e 400°C, e entra no condensador a 10 kPa. A turbina produz uma potência de saída de 20000 kW com uma eficiência isentrópica de 85%. Qual é a vazão mássica de vapor no ciclo e a taxa de calor rejeitado pelo condensador? Encontre a eficiência térmica dessa planta de potência e compare com a eficiência de um ciclo de Carnot.

6.a.6. Um ciclo de potência a vapor atinge uma pressão máxima de 3,0 MPa e uma temperatura de 45° C na saída do condensador. A eficiência da turbina é de 85%, e os outros componentes do ciclo são ideais. Se a caldeira superaquece o vapor a 800°C, calcule a eficiência térmica do ciclo.

6.a.7. Para a planta de potência a vapor descrita no problema **6.a.1.**, assuma as eficiências isentrópicas da turbina e bomba iguais a 85% e 80%, respectivamente. Determine os trabalhos específicos, as transferências de calor na caldeira e condensador e a eficiência do ciclo.

6.a.8. Considere uma planta de potência a vapor que produz 210 MW em um ciclo Rankine ideal. O vapor entra na turbina a 10 MPa e 500 °C e é resfriado no condensador na pressão de 10 kPa. Determine:

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

- (a) O título do vapor na saída da turbina
- (b) A eficiência térmica do ciclo.
- (c) A vazão mássica de vapor

6.a.9. Repita o problema **6.a.8.** assumindo uma eficiência isentrópica de 85% na bomba e na turbina do ciclo.

c. Ciclo Rankine com reaquecimento

6.c.1. Uma pequena planta de potência produz vapor a 3MPa, 600°C na caldeira. A temperatura do fluido de trabalho no condensador é mantida a 45°C pela transferência de calor de 10MW. A primeira seção da turbina expande o vapor para 500 kPa e então o escoamento é reaquecido seguido por uma nova expansão na turbina de baixa pressão. Determine a temperatura de reaquecimento se a saída na turbina é vapor saturado. Para esse reaquecimento encontre a potência total da turbina e o calor transferido na caldeira.

6.c.2. Considere um ciclo ideal de vapor com reaquecimento no qual vapor entra na turbina de alta pressão a 3,0 MPa, 400 °C, e então expande para 0,8 MPa. O vapor é então reaquecido para 400 °C e expande até 10 kPa na turbina de baixa pressão. Calcule a eficiência térmica do ciclo e o título da mistura que deixa a turbina de baixa.

6.c.3. Repita o problema **6.c.2.** utilizando dois estágios de reaquecimento, um estágio a 1,2 MPa e o segundo a 0,2 MPa, ao invés de um único estágio de reaquecimento a 0,8 MPa.

6.c.4. Uma pequena planta de potência produz 25 kg/s de vapor a 3MPa, 600°C na caldeira. O vapor é condensado com água do mar e na saída do condensador sua temperatura é de 45°C. Um reaquecimento no vapor é realizado a 500 kPa e 400 °C e então é expandido na turbina de baixa. Calcule a potência líquida de saída e o calor total transferido na caldeira por segundo.

6.c.5. Um ciclo Rankine com reaquecimento ideal opera com água sendo o fluido de trabalho e as pressões na caldeira, no reaquecedor e no condensador são 15000 kPa, 2000 kPa e 100kPa, respectivamente. A temperatura é igual a 450 °C na entrada das turbinas de alta e baixa pressão. A vazão mássica no ciclo é de 1,74 kg/s. Determine a potência utilizada nas bombas, a potência produzida pelo ciclo, a taxa de calor transferido no reaquecedor, e a eficiência térmica do sistema.

6.c.6. Considere uma planta de potência a vapor que opera em um ciclo Rankine com reaquecimento e produz uma potência líquida de 80 MW. Vapor entra na turbina de alta pressão a 10 MPa e 500 °C e na turbina de baixa pressão a 1 MPa e 500 °C. O vapor deixa o condensador como líquido saturado na pressão de 10 kPa. A eficiência isentrópica da turbina é de 80% e da bomba é 95%. Apresente o ciclo em um diagrama *T-s* e determine:

- (a) O título na saída da turbina ou temperatura se o estado for superaquecido.
- (b) A eficiência térmica do ciclo.
- (c) A vazão mássica de vapor.

6.c.7. Repita o problema **6.c.6.** assumindo que a bomba e turbina são isentrópicas.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

d. Ciclo regenerativo de Rankine

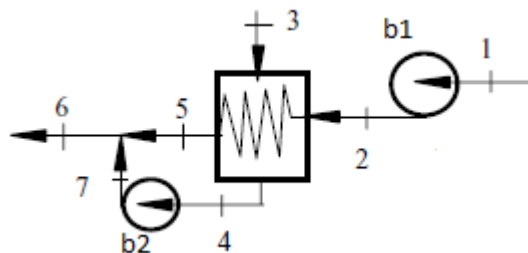
6.d.1. Um aquecedor de contato em uma planta de potência a vapor regenerativa recebe 20 kg/s de água a 100°C, 2 MPa. O vapor extraído da turbina entra no aquecedor a 2 MPa, 275 °C, e toda água deixa o aquecedor como líquido saturado. Qual é a vazão mássica da extração de vapor da turbina?

6.d.2. Uma planta de potência a vapor opera em um ciclo regenerativo de Rankine utilizando uma aquecedor de contato. Considerando o ciclo dessa planta, a temperatura no condensador é de 45 °C, e a pressão máxima é 5 MPa, e a temperatura na saída da caldeira de 900 °C. O vapor é extraído a 1 MPa para o aquecedor onde é misturado com a água de retorno, e na saída do aquecedor de contato a água se encontra como líquido saturado que entra em uma segunda bomba. Determine a fração de extração de vapor e os trabalhos específicos das duas bombas (b1 – antes do aquecedor de contato / b2 – depois do aquecedor).

6.d.3. Considere um ciclo regenerativo ideal no qual vapor entra na turbina a 3,0 MPa, 400 °C, e sai para o condensador a 10 kPa. O vapor é extraído da turbina a 0,8 MPa para um aquecedor de contato (misturador). O fluido de trabalho deixa o aquecedor como líquido saturado. São utilizadas bombas apropriadas para a água que deixa o condensador e o aquecedor. Calcule a eficiência térmica do ciclo e o trabalho líquido por quilograma de vapor.

6.d.4. Uma planta de potência a vapor tem as pressões mais alta e mais baixa do ciclo sendo 20 MPa e 10 kPa, e um aquecedor de contato operando a 1MPa com a saída de líquido saturado. A máxima temperatura do ciclo é de 800 °C e a turbina tem uma potência total de 5 MW. Encontre a fração do escoamento que é extraído para o aquecedor e a taxa de transferência de calor no condensador.

6.d.5. Uma planta de potência a vapor regenerativa, opera com um aquecedor de superfície (trocaador de calor). Neste ciclo a temperatura no condensador é de 45 °C, a pressão máxima é de 5 MPa, e na saída da caldeira a temperatura é de 900 °C. A extração de 1 MPa de vapor da turbina é condensada no aquecedor e bombeada para linha de retorno a 5 MPa, onde toda água entra na caldeira a 200°C. Calcule a fração de extração de vapor e o trabalho específico das duas bombas.



6.d.6. Uma planta de potência a vapor opera em um ciclo regenerativo de Rankine ideal. O vapor entra na turbina a 6 MPa e 450 °C e é condensado a 20 kPa. O vapor é extraído da turbina a 0,4 MPa para aquecer a água de retorno em um aquecedor de contato. A água deixa o aquecedor de contato como líquido saturado. Apresente o diagrama $T-s$ e determine:

- (a) O trabalho líquido por quilograma de vapor.
- (b) A eficiência térmica do ciclo.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

6.d.7. Repita o problema **6.d.6.** substituindo o aquecedor de contato por um aquecedor de superfície. Dessa forma, assuma que a água de retorno deixa o aquecedor na temperatura de condensação do vapor extraído e que o vapor extraído deixa o aquecedor como líquido saturado e é bombeado para a linha que transporta a água de retorno.

GABARITO

6 – Turbinas a vapor

a. Ciclo Rankine (com e sem superaquecimento)

6.a.1. Caldeira: $q_H=2609,3$ kJ/kg; Turbina: $w_T=845,8$ kJ/kg; Condensador: $q_L=1766,5$ kJ/kg; $\eta=0,323$.

6.a.2. $\eta=0,261$.

6.a.3. $\eta=0,349$; $\eta_c=0,56$.

6.a.4. $T=758$ °C; 4,82 kg/s.

6.a.5. 21,568 kg/s; $Q_{\text{condensador}}=44786$ kW; $\eta=0,307$; $\eta_c=0,526$.

6.a.6. $\eta=0,347$.

6.a.7. $w_b=3,775$ kJ/kg; $q_H=2608,56$ kJ/kg; $w_T=718,9$ kJ/kg; $q_L=1893,4$ kJ/kg; $\eta=0,274$.

6.a.8. $x=0,7934$; $\eta=40,2\%$; vazão: 164,7 kg/s.

6.a.9. $x=0,874$; $\eta=34,1\%$; vazão: 194,3 kg/s.

6.a.10.

c. Ciclo Rankine com reaquecimento

6.c.1. $T_{\text{reaquecimento}}=529$ °C; $W_T=6487$ kW; $Q_H=16475$ kW.

6.c.2. Título: $x=0,923$; $\eta=0,362$.

6.c.3. $\eta=0,356$.

6.c.4. $Pot=34820$ kW; $Pot=91737$ kW.

6.c.5. $Pot=2000$ kW; $Q_{\text{reaquecedor}}=1140$ kW; $Pot_{\text{bomba}}=27$ kW; $\eta=0,340$.

6.c.6. $T=88,1$ °C; $\eta=34,1\%$; Vazão de vapor: 62,7 kg/s.

6.c.7. $x=0,9487$; $\eta=41,3\%$; Vazão de vapor: 50,0 kg/s.

d. Ciclo regenerativo de Rankine

6.d.1. 4,754 kg/s.

6.d.2. $w_{b1}=1,0$ kJ/kg; $w_{b2}=4,5$ kJ/kg; fração de extração: 0,1661.

6.d.3. $w_{liq}=896,2$ kJ/kg; $\eta=0,357$.

6.d.4. fração de extração: 0,2021; $Pot_{\text{cond}}=4858$ kW.

Lista de Exercícios - Máquinas Térmicas

6.d.5. $w_{b1}=5,04$ kJ/kg; $w_{b2}=4,508$ kJ/kg; fração de extração: 0,1913.

6.d.6. $w_{liq}=1016,5$ kJ/kg; $\eta=37,8\%$.

6.d.7. $w_{liq}=1016,5$ kJ/kg; $\eta=37,8\%$