

POLITECNICO DI TORINO
ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE
DI INGEGNERE INDUSTRIALE

II Sessione 2011 - Sezione A

Settore industriale

Classe 33/S – Ingegneria Energetica e Nucleare

Prova pratica del 19 dicembre 2011

Un gruppo di produzione di energia elettrica abbia la potenza elettrica nominale di 660 MWe un rendimento globale pari a 0,4. L'impianto è a vapore ed è di tipo supercritico.

Esso utilizza dell'olio combustibile con la composizione ponderale percentuale di tab. 1.

Il combustibile sia anche caratterizzato con i dati di tabella 2.

Il combustibile sia prelevato da un serbatoio di stoccaggio nel quale è alla temperatura di 30 °C. Esso alimenta dei bruciatori (potenza unitaria massima 50 MW, potenza nominale 45 MW, potenza minima di esercizio 10 MW) dopo averlo riscaldato alla temperatura di 100 °C con opportuni scambiatori di calore alimentati con vapore d'acqua alla pressione $p=0.6$ MPa e temperatura 180 °C.

Lato vapore l'impianto sia costituito da un corpo di alta pressione, uno di media di pressione e due di bassa pressione. Per gli eventuali dati mancanti fare le opportune ipotesi.

La combustione sia realizzata con un eccesso d'aria del 15%.

S'intende studiare il processo di combustione con lo scopo di evidenziare i parametri fluidodinamici del comburente (aria), del combustibile, e dei prodotti di combustione in termini di portate, composizione dei fumi, andamenti delle temperature lungo il percorso dei fumi, ecc.

Per il ciclo termodinamico far riferimento al diagramma di Mollier.

Determinare:

1. la portata di combustibile necessaria per esercire il gruppo alla potenza nominale di progetto con l'assegnato rendimento globale;
2. la portata d'aria necessaria per la combustione dell'olio combustibile ;
3. le portate di aria e combustibile associate al singolo bruciatore quando questo opera alle potenze massima, nominale e minima;
4. la potenza termica necessaria per preriscaldare la portata di olio combustibile per ogni singolo bruciatore e la corrispondente portata di vapore necessaria; estendere lo studio al caso del preriscaldamento di una fina di 5 bruciatori. Effettuare un dimensionamento di massima dello scambiatore di calore necessario per quest'ultimo caso;
5. la portata dei fumi e la loro composizione quando l'impianto operata alla potenza nominale di progetto;
6. la temperatura adiabatica della fiamma nell'ipotesi di alimentare i bruciatori con aria alla temperatura di 300 °C e il combustibile a 100 °C;
7. la temperatura all'uscita del naso del generatore di vapore nell'ipotesi di utilizzare il metodo di Orrok-Hudson con un carico termico superficiale pari a 350 kW/m^2 ;
8. le potenze da rimuovere lungo il percorso dei fumi nell'ipotesi che all'uscita del economizzatore la temperatura dei fumi non sia inferiore a 350 °C;
9. la potenza termica che occorre trasferire all'aria comburente nell'ipotesi che questa sia riscaldata a partire da $t = 20$ °C
10. Trattandosi di un impianto supercritico, discutere la parte del ciclo termodinamico realizzabile nel generatore di vapore in termini di potenziali pressioni e temperature.

Tabella 1: composizione elementare dell'olio combustibile

specie chimica	Simbolo	% in peso
Carbonio	C	85,4
idrogeno	H ₂	11,7
zolfo	S	2,3
Ossigeno	O ₂	0,5
Acqua	H ₂ O	0,1

Tabella 2: alcuni dati associati al combustibile

grandezza	simbolo	valore	unità di misura
peso specifico relativo all'acqua	γ	0,95	-
potere calorifico inferiore	H _i	41500	kJ/kg
viscosità cinematica 15 °C	ν	1200	mm ² /s
viscosità cinematica a 100 °C	ν	20	mm ² /s
calore specifico medio dell'olio a 100 °C	c _{pm}	1858	J/(kg*°C)
conducibilità termica a 100 °C	λ	0.12	W/(m*C)

Allegati:

Correlazioni per il calcolo delle proprietà termofisiche

Calore specifico dell'olio combustibile: valore medio tra 0 °C e t °C in J/(kg*°C)

$$(c_{p,m})_0^t = 3856 - 2345\gamma + 2.3t$$

dove:

γ = peso specifico relativo

conducibilità termica dell'olio combustibile in W/(m*°C) con t in °C

$$\lambda = \frac{0,1172}{\gamma} (1 - 0,00054 * t)$$

Coefficiente globale di scambio termico nello scambiatore per il preriscaldamento dell'olio combustibile: 300 W/(m² °C)

Proprietà del fluido primario (all'ingresso e allo scarico) che provvede al riscaldamento dell'olio combustibile.

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
180.00	0.60000	2.9873	2806.0	6.8720
100.00	0.60000	958.58	419.54	1.3068

Proprietà dell'acqua alla saturazione a 0.6 MPa.

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
158.83	0.60000	908.59	3.1687	670.38	2756.1	1.9308	6.7592

Calore specifico a pressione costante (atmosferica) dell'aria tra 0 e 300 °C in J/(kg*C)

$$c_a = 1003,8 + 53 \frac{t}{1000} + 308,9 \left(\frac{t}{1000} \right)^2$$

Calore specifico dei fumi c_g

E' una funzione dell'indice d'aria n e dell'umidità dei prodotti di combustione u

Nota il contenuto di idrogeno H nel combustibile:

$$u = \frac{8,936H}{11,484n + 1 + 0,2272nH} \text{ in \%}$$

Calore specifico in J/kg °C

$$c_g = 972,7 + 10,76u + (332,62 - 6,5u) \frac{t}{1000} - (83,93 - 7,33u) \left(\frac{t}{1000}\right)^2$$

Conducibilità termica dei gas di combustione per t compreso tra 0 e 800 °C

$$\lambda_g = 0,001 \left[21,27 + 72,53 \frac{t}{1000} - 11,13 \left(\frac{t}{1000}\right)^2 \right]$$

Viscosità dinamica media per i prodotti di combustione in Kg/(m*s)

$$\mu_g = 10^{-6} \left[15,63 + 43,67 \left(\frac{t}{1000}\right) - 11,1 \left(\frac{t}{1000}\right)^2 \right]$$

Possibili capisaldi del ciclo lato acqua

Grandezza	Unità di misura	valore
Portata di vapore al surriscaldatore	t/h	2160
Temperatura del vapore uscita surriscaldatore	°C	540
Pressione vapore ingresso SH	bar	280
Portata vapore al risurriscaldatore	t/h	1657
Temperatura del vapore risurriscaldato	°C	540
Pressione vapore al risurriscaldatore	bar	40
pressione allo scarico dei corpi di media pressione	bar	7
pressione al condensatore	bar	0.05
temperatura in ingresso all'economizzatore	°C	295
pressione in ingresso economizzatore	bar	300
Rendimento generatore di vapore	%	96

Proprietà termodinamiche dell'acqua in alcuni capisaldi del ciclo

Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
540.00	280.00	92.540	3269.1	6.0529
540.00	40.000	10.934	3537.5	7.2075
180.00	7.0000	3.5118	2799.4	6.7893
295.00	300.00	759.15	1303.7	3.1318

Proprietà dell'acqua alla saturazione a 0.05 bar (condensatore)

Temperature (°C)	Pressure (MPa)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
32.874	0.050000	994.70	0.035480	137.75	2560.7	0.47620	8.3938