

THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE

AUX MACHINES THERMIQUES

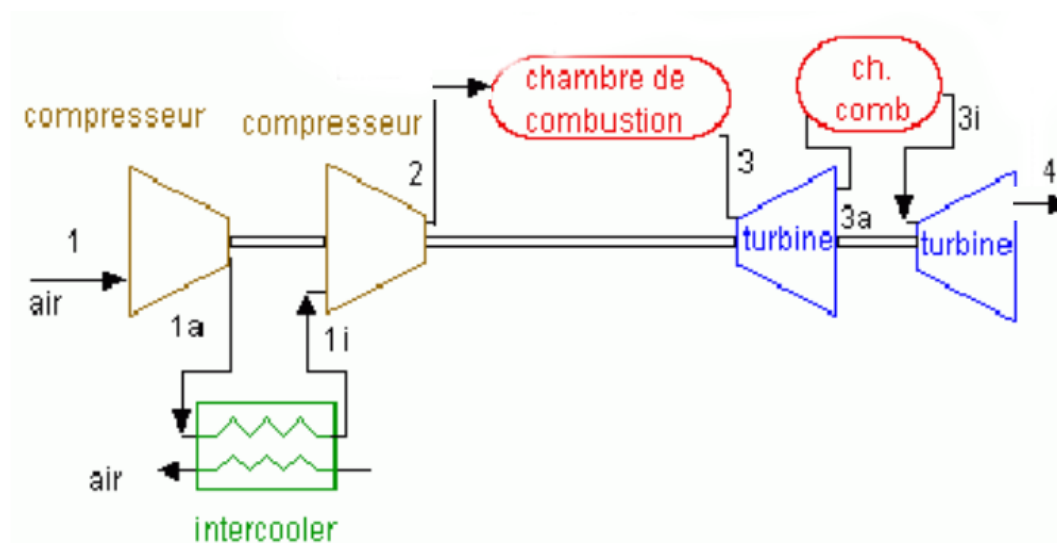
Examen du Décembre 2011

Durée : 2 heures

Documents (cours et notes personnelles) autorisés

PREMIERE PARTIE : THERMODYNAMIQUE DES MACHINES THERMIQUES

Moteurs à réaction : Refroidissement intermédiaire et réchauffe



On considère une turbine à gaz qui comporte les organes suivants :

- Une compression bi-étagée avec un refroidissement intermédiaire ;
- Une combustion bi-étagée avec une turbine de détente intermédiaire .

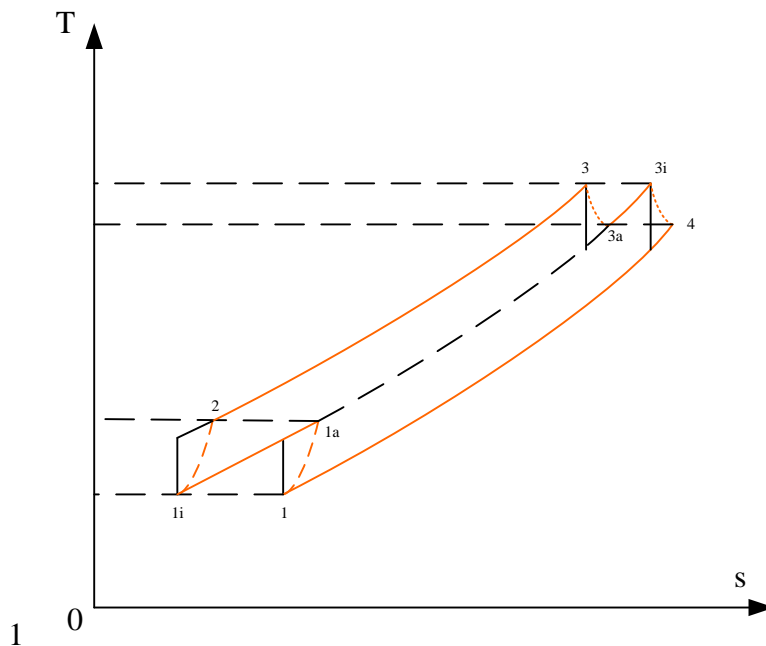
On dispose des informations suivantes :

- Les 2 étages de compresseurs ont le même rapport de compression ,
- Les 2 étages de turbine ont un taux de détente identique,
- Les pertes de charge sont négligeables dans le refroidissement intermédiaire de la compression ($P_{1i}=P_{1a}$) et dans les chambres de combustion ($P_{3i}=P_{3a}$).
- La haute pression est de 16 bars,

- L'air entre à 288K et à la pression atmosphérique qui est 1 bar ,
- L'efficacité du refroidissement entre les 2 étages de compression est de 100%, ($T_{1i}=T_1$)
- Les caractéristiques de l'air sont : $\gamma = 1.4$ et $C_p = 1 \text{ kJ/(kg.K)}$,
- Les caractéristiques des gaz brûlés sont : $\gamma_g = 1.3$ et $C_{pg} = 1.22 \text{ kJ/(kg.K)}$,
- La température de sortie des chambres de combustion est de 1423K,
- Le rendement isentropique des étages de compression est de 85%,
- Le rendement isentropique des étages de détente est de 90%,
- Le pouvoir calorifique inférieur du combustible est 42 000kJ/kg.

Questions :

1. Représenter ce cycle de transformations dans le diagramme (T, s).
2. Donnez la valeur des pressions sur tous les points du cycle,
3. Calculez la températures en sortie de compresseur T_{1a} et T_2 ,
4. Calculez les températures en sortie de turbine T_{3a} et T_4 ,
5. Calculez les travaux massiques de compression, de détente, et déduisez –en le travail massique utile,
6. Calculez la chaleur de combustion,
7. Calculez le rendement du cycle,
8. Calculez le débit de combustible, déduisez-en la consommation spécifique (g/kWh),
9. Questions de réflexion : quelles améliorations proposez-vous et pour quelles performances ? (compression multi-étagée, régérateur, co-génération, cycle combiné, compression séquentielle avec refroidissement intermédiaire) .



2-4

$$T_{1a, is} = T_1 \pi^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 288 \times 4^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 428K$$

$$T_{1a} = T_1 + \frac{T_{1a, is} - T_1}{\eta_c} = 452.7K$$

$$T_{3a, is} = T_3 \div \pi^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1423 \div 4^{\frac{1.3-1}{1.3}} = 1033.4K$$

$$T_{3a} = T_3 - (T_3 - T_{3a, is})\eta_t = 1072.36K$$

Points	Fluide	P (bar)	T (K)
1	Air	1	288
1a	Air	4	452.7
1i	Air	4	288
2	Air	16	452.7
3	Gaz brûlés	16	1423
3a	Gaz brûlés	4	1072.36
3i	Gaz brûlés	4	1423
4	Gaz brûlés	1	1072.36

$$5. w_c = 2 \times c_{pa} (T_{1a} - T_1) = 2 \times 1 \times (452.7 - 288) = 329.4 kJ / kg$$

$$w_t = 2 \times c_{pg} (T_3 - T_{3a}) = 2 \times 1.22 \times (1423 - 1072.36) = 855.56 kJ / kg$$

$$w_u = 526.16 kJ / kg$$

$$6. q_1 = c_{pa} (T_3 - T_2) + c_{pg} (T_{3i} - T_{3a}) = 1398.08 kJ / kg \quad \text{or}$$

$$q_1 = c_{pg} (T_3 - T_2) + c_{pg} (T_{3i} - T_{3a}) = 1611.5 kJ / kg$$

$$7. \eta = w_u / q_1 = 37.6\% \quad \text{or} \quad 32.65\%$$

$$8. \text{Consommation spécifique: } C_{sp} = \frac{q_1}{w_u I_P} = 227.8 g/kWh \quad \text{or} \quad 262.5 g/kWh$$

DEUXIEME PARTIE : THERMOCHIMIE

L'ensemble des apports thermiques assurés dans la chambre de combustion et dans la réchauffe proviennent de la combustion d'un mélange stœchiométrique constitué d'éthylène (C₂H₄) injecté dans l'air.

1. Déterminer le nombre de moles d'air z_{ist} permettant de réaliser ce mélange et quelle sera la composition à T* des produits de combustion.
2. Quelle en sera la dilution ?
3. Des essais sont prévus avec un mélange pauvre de ce type. Pour une richesse égale à 0.8, quelles seront la composition à T* des produits de

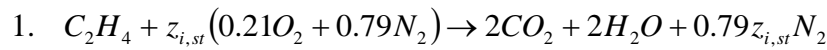
combustion et la chaleur dégagée par la réaction (on exprimera cette valeur en % de la chaleur maximale obtenue en mélange stœchiométrique).

1) Enthalpies de formation H_{Fi}^* (à $T = T^*$) des divers constituants)

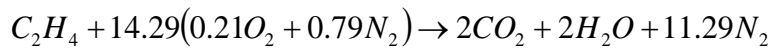
i	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	CO ₂	CO	H ₂ O(g)
H _{F i} [*] (kcal/mole)	12.5	-24.8	-94.05	-26.42	-57.8

2) Enthalpie de vaporisation de l'eau à T^* :

$$H_{v,H_2O}=10.5\text{kcal/mole.}$$



$$z_{i,st} = \frac{6}{0.42} = 14.29$$



$$I_p = -(-94.05 \times 2 - 57.8 \times 2 - 12.5) = 316.2\text{kcal/mole}$$

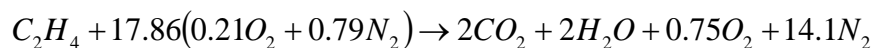
$$P_p = 316.2 + 2 \times 10.5 = 337.2\text{kcal/mole}$$

$$2. \quad D_{st} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{14.29 \times (0.21 \times 32 + 0.79 \times 28)}{28} = 14.7$$

$$3. \quad r=0.8$$

$$D = \frac{D_{st}}{r} = 18.4$$

$$z_i = \frac{28 \times D}{0.21 \times 32 + 0.79 \times 28} = 17.86$$



$$Q = -(-94.05 \times 2 - 57.8 \times 2 - 12.5) = 316.2\text{kcal/mole}$$

Compared to the maximum heat released : 100%