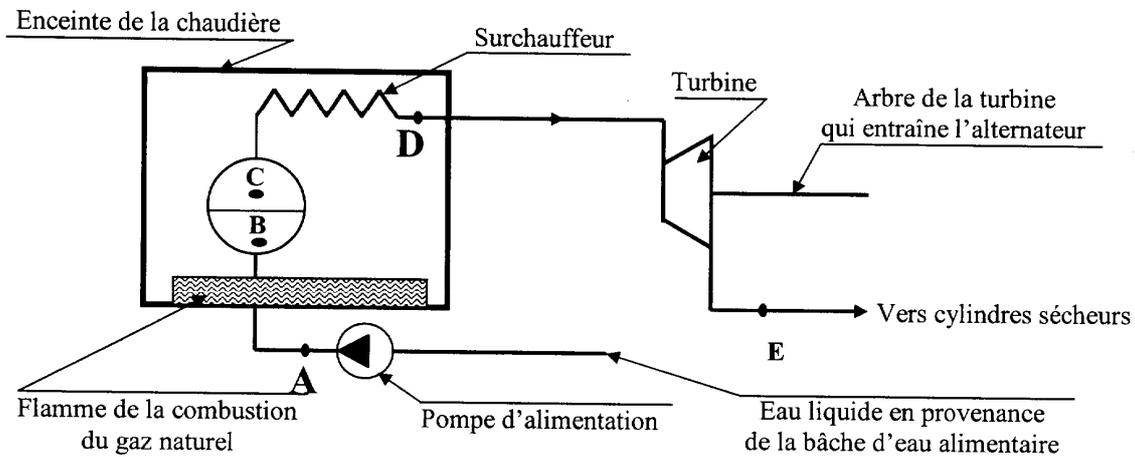


TS2 CIRA THERMODYNAMIQUE : révision

Présentation

L'étude porte sur une installation de cogénération équipée d'une chaudière à gaz et d'une turbine de détente. Les industries fortes consommatrices de vapeur pour le séchage (papier...) s'orientent de plus en plus vers la cogénération. Il s'agit d'un procédé permettant la production simultanée d'électricité et de vapeur. Le dispositif permet alors d'obtenir des rendements intéressants.

Principe :



L'eau traitée est introduite dans un ballon de production de vapeur (état A).

Sous l'effet de la chaleur produite par la combustion du gaz naturel, l'eau est alors portée à température d'ébullition (état B) puis est vaporisée (état C). Le passage dans le surchauffeur a pour effet d'augmenter la température de la vapeur sans modifier sa pression.

La vapeur obtenue est ainsi surchauffée (état D). La vapeur surchauffée est ensuite dirigée vers une turbine réalisant une détente adiabatique. Cette détente a pour effet de produire de l'énergie mécanique sur l'arbre de la turbine. Cette énergie servira à entraîner un alternateur produisant de l'électricité. La vapeur issue de la turbine (état E) est enfin acheminée vers les cylindres sécheurs de la machine à papier.

Données:

Débit massique de vapeur :	$D_m = 26,5 \text{ t.h}^{-1}$;
Capacité thermique massique de l'eau liquide	$C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
Enthalpie massique de l'eau liquide à 0°C	$h_{\text{eau liquide à } 0^\circ\text{C}} = 0 \text{ kJ.kg}^{-1}$;
Rendement de la chaudière	$\eta = 94 \%$.
Exposant adiabatique de la vapeur d'eau	$\gamma = 1,29$

Certaines caractéristiques du fluide aux états A, B, C, D et E sont synthétisées dans le tableau suivant:

états	A	B	C	D	E
Température (°C)	105			435	
Pression absolue (bar)	46	46	46	46	5

1. Étude de la chaudière.

1.1. On connaît l'enthalpie massique de l'eau liquide à 0°C et la capacité thermique massique de l'eau liquide. Montrer que l'enthalpie massique de l'eau liquide à 105 °C est : $h_A = 439 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

1.2. Sur le diagramme de Mollier, placer le point D représentatif de l'état D du fluide. En déduire la valeur de l'enthalpie massique h_D de la vapeur.

1.3. A l'aide des résultats précédents, calculer la variation d'enthalpie Δh_{AD} apportée par la chaudière au fluide.

1.4. En déduire la puissance thermique utile de la chaudière P_{th} (puissance thermique réellement transmise au fluide).

1.5. A l'aide du rendement de la chaudière, calculer P_a la puissance thermique absorbée par la chaudière.

Dans toute la suite, on admettra $h_D = 3\,290 \text{ kJ.kg}^{-1}$

2. Étude de la turbine parfaite.

Dans un premier temps, on considère que le fonctionnement de la turbine est adiabatique réversible (ou quasistatique (isentropique)).

2.1. Sur le diagramme de Mollier, placer le point E, correspondant à l'état E du fluide sortant de la turbine parfaite dans le cas d'une détente isentropique. En déduire la valeur de l'enthalpie massique h_E .

Déterminer graphiquement la température au point E puis retrouver sa valeur par le calcul.

2.2. Calculer la variation d'enthalpie massique de la vapeur Δh_{DE} lors de la traversée de la turbine.

2.3. En admettant que les conditions réunies autorisent l'emploi de la relation : $\Delta h = q + w^*$.

q représente la chaleur échangée et w^* le travail utile échangé.

Déterminer travail massique utile w_{TU} produit par la turbine.

En déduire la puissance utile P_u de la turbine parfaite.

2.4. Quelle est la nature du fluide sortant de la turbine. Cela présente-t-il un risque pour le bon fonctionnement de la turbine? Justifier votre réponse.

3. Étude de la turbine réelle.

Dans un deuxième temps, on considère que le fonctionnement de la turbine est adiabatique (son fonctionnement réel n'est pas isentropique).

D'autre part, les caractéristiques du fluide sortant de la turbine réelle sont les suivantes :

$P_E = 5$ bars absolus ; $\theta_{E'} = 210^\circ\text{C}$.

3.1. Sur le diagramme de Mollier, placer le point E' représentatif de l'état E' du fluide. En déduire l'enthalpie massique $h_{E'}$ correspondante du fluide et sa température.

3.2. Calculer la variation d'enthalpie massique de la vapeur $\Delta h_{DE'}$ lors de la traversée de la turbine.

3.3. En admettant que les conditions réunies autorisent l'emploi de la relation : $\Delta h = q + w^*$.

q représente la chaleur échangée et w^* le travail utile échangé. Déterminer travail massique utile w'_{TU} produit par la turbine.

En déduire la puissance utile P'_u de la turbine réelle.

4. Estimation des rendements.

4.1. À l'aide des résultats obtenus aux questions 2.3 et 3.3 calculer le rendement thermodynamique de la turbine réelle.

4.2. À l'aide des résultats obtenus aux questions 1.5 et 3.3 calculer le rendement global du dispositif de transformation d'énergie thermique en énergie mécanique.

Diagramme de Mollier de la vapeur d'eau

Unités :

H en kJ/kg/K

T en °C

P en bars absolus

