

TD - Th8a - Machines thermiques

1 Puissance d'un couple moteur

Un hélicoptère Robinson R44 nécessite au décollage une puissance $P = 180$ cv avec des pales tournant environ à $7 \text{ tour}\cdot\text{s}^{-1}$. Quel est le couple exercé par le moteur sur les pales ?

Donnée : un cheval vapeur (1cv) vaut 736 W.

2 Moteur de Stirling

On considère $n = 40 \cdot 10^{-3}$ mol d'air, considéré comme un gaz parfait, de rapport $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ supposé indépendant de la température ($\gamma = 1,4$), subissant un cycle modélisé par les évolutions suivantes à partir de l'état A : $P_1 = 1,0$ bar et $T_1 = 300$ K :

- compression isotherme réversible au contact du thermostat Th_1 de température T_1 , jusqu'à l'état B, de volume $V_2 = \frac{V_1}{10}$,
- échauffement isochore au contact thermique du thermostat Th_2 de température $T_2 = 600$ K jusqu'à l'état C de température T_2 ,
- détente isotherme réversible au contact de la source Th_2 jusqu'à l'état D de volume V_1 ,
- refroidissement isochore au contact thermique de la source Th_1 jusqu'à l'état A.

1. Déterminer les valeurs numériques de P , V et T pour chacun des états.
2. Représenter le cycle dans le diagramme de Watt (P, V). Comment peut-on vérifier graphiquement que le cycle est bien moteur ?
3. Exprimer puis calculer pour chaque étape le travail et le transfert thermique reçu par le gaz. Pour quelle(s) étape(s) le gaz reçoit-il de l'énergie sous forme thermique ? Pour quelle(s) étape(s) le gaz en cède-t-il ? Vérifier que le cycle est bien moteur.
4. Exprimer le rendement ρ de ce moteur en fonction de T_1 , T_2 , γ et des valeurs numériques utiles. Faire l'application numérique. Comparer la valeur obtenue à celle d'un cycle de Carnot fonctionnant entre les deux mêmes sources.

$$\text{Réponse : } \rho = \frac{(T_2 - T_1) \ln 10}{\frac{1}{\gamma-1}(T_2 - T_1) + T_2 \ln 10} = 0,32.$$

3 Climatisation d'une maison

Une pompe à chaleur est utilisée pour assurer le chauffage en hiver et le refroidissement en été d'une maison. Le fluide utilisé parcourt un circuit dans lequel, étant sous forme de vapeur, il est comprimé par un compresseur C et se condense dans un liquéfacteur L , puis il subit une détente au niveau d'une valve V et finit de se vaporiser dans l'évaporateur E avant de retourner au compresseur.

Fonctionnement hiver (pompe à chaleur)

1. Dans une pompe à chaleur, lequel des deux organes L ou E faut-il mettre en contact avec la source chaude et la source froide respectivement ?

En hiver, la température extérieure moyenne est $\theta_F = 0^\circ\text{C}$ et la température intérieure vaut $\theta_C = 20^\circ\text{C}$. On note T_F et T_C les valeurs de ces mêmes températures en kelvin.

2. Établir l'expression du coefficient de performance maximum CoP_{\max} d'une pompe à chaleur fonctionnant entre une source froide de température T_F et une source chaude de température T_C . Faire l'application numérique.

En déduire le transfert thermique maximum qui peut être fourni à la maison pendant une heure si la puissance \mathcal{P} du compresseur électrique est de 4,00 kW.

3. Quel transfert thermique serait obtenu si la même puissance électrique était dépensée dans un radiateur électrique ? Quelle est l'origine de l'excès énergétique dans le cas d'une pompe à chaleur ?

La puissance thermique \mathcal{P}_{th} cédée à l'extérieur par fuite thermique est supposée proportionnelle à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur :

$$\mathcal{P}_{th} = K(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

avec T_{int} et T_{ext} respectivement les températures intérieures et extérieures.

4. Calculer le coefficient de proportionnalité K , sachant que le coefficient de performance réel de la pompe est égale au tiers de valeur maximale calculée et que la puissance $\mathcal{P} = 4,00$ kW permet de maintenir la température intérieure constante.
5. Établir la loi de variation de la température $T(t)$ de la maison si on arrête la pompe à chaleur. Au bout de combien de temps la température de la maison atteint-elle 10°C (★★★) ?
On prendra pour capacité thermique de la maison : $C = 12,54 \cdot 10^4$ kJ.K⁻¹

Fonctionnement été (climatisation)

En été la température extérieure moyenne est de $\theta'_C = 35^\circ\text{C}$ et la température intérieure de $\theta'_F = 20^\circ\text{C}$. On note T'_C et T'_F les valeurs associées en kelvin.

6. Établir l'expression du coefficient de performance maximum CoP_{\max} du climatiseur en fonction de T'_F et T'_C ? Faire l'application numérique.
7. En supposant que le CoP réel est toujours le tiers de la valeur maximale, quelle fraction du temps le compresseur doit-il fonctionner (★★) ?

Réponses : 4) $K = \frac{T_C}{3(T_C - T_F)^2} \mathcal{P} = 977$ SI ; 5) $8,9 \cdot 10^4$ s ; 6) 56%.

4 Réfrigérateur à absorption

On se propose d'étudier un réfrigérateur fonctionnant sans compresseur ($W = 0$), mais utilisant une troisième source (le bouilleur). Ce type d'appareil peut donc fonctionner en l'absence d'alimentation électrique, mais nécessite l'apport thermique d'une combustion (au gaz par exemple). Un mélange liquide eau-ammoniac est porté dans un bouilleur à une température $T_1 = 400K$. De l'ammoniac s'évapore puis se liquéfie dans le condenseur de température $T_2 = 290K$. Après la détente il est vaporisé et est mis en contact de la chambre froide de température $T_3 = 250K$. L'ammoniac à nouveau dissout dans l'eau retourne au bouilleur.

Exprimer les deux principes de la thermodynamique reliant les trois transferts thermiques Q_1 , Q_2 et Q_3 et en déduire l'inégalité vérifiée par le coefficient de performance (CoP) de ce réfrigérateur en fonction des températures T_1 , T_2 et T_3 . Commenter le résultat obtenu.

Réponse :

$$\text{CoP} \leq \frac{(T_1 - T_2)T_3}{T_1(T_2 - T_3)}$$

