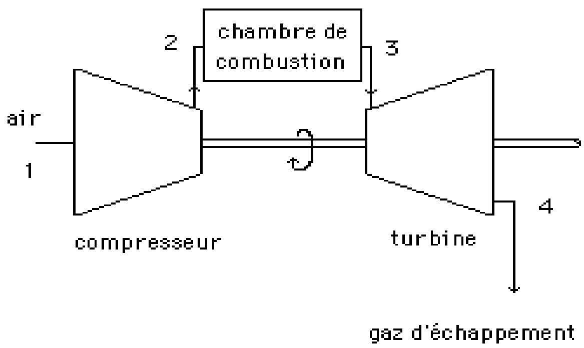
Turbine à gaz à air parfait

1) Etude du cycle de base

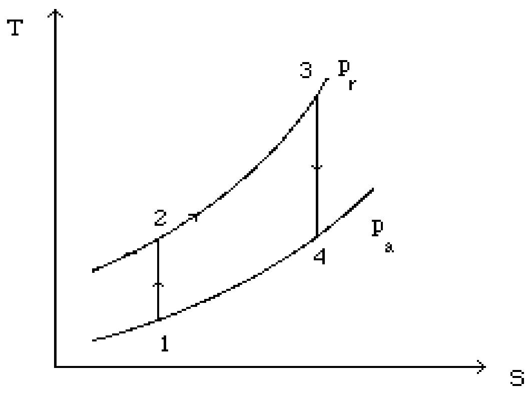
Dans un cycle de Brayton ouvert, cycle de base de la turbine à gaz, on aspire de l'air à une pression de 1 bar et 15°C, et on le comprime à 16 bars. Il est ensuite échauffé dans la chambre de combustion, dont il sort à la température de 1150 °C. Les rendements isentropiques du compresseur et de la turbine sont respectivement égaux à 78,7 % et 89 %.

Tracer le cycle et déterminer son rendement, en faisant l'hypothèse que l'air est un gaz parfait.

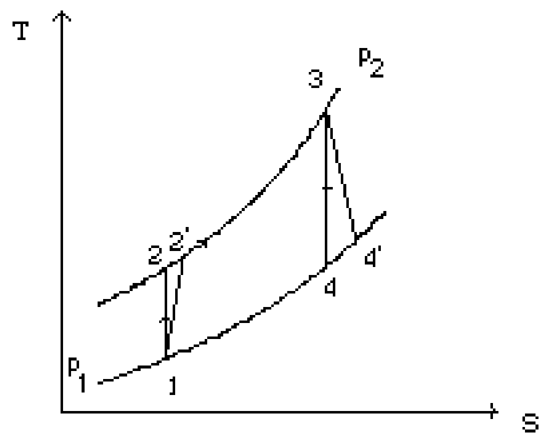


Turbine à gaz à cycle ouvert

Corrigé :



Cycle de Brayton ouvert



Cycle de Brayton réel

Le rendement du cycle est égal au rapport du travail utile (turbine moins compresseur) à la chaleur fournie au fluide. Il est donc donné par la formule :

$$\eta = \frac{|\tau_t| - \tau_c}{Q}$$

D'après le premier principe, sur les isobares Q = Δh, et, sur les adiabatiques, τ = Δh

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4') - (h_2' - h_1)}{h_3 - h_2'}$$

L'air étant considéré comme un gaz parfait, Δh = Cp ΔT, ce qui nous permet d'écrire le rendement sous la forme suivante :

$$\eta = \frac{Cp.(T_3 - T_4') - Cp.(T_2' - T_1)}{Cp\ (T_3 - T_2')}$$

$$\eta = \frac{(T_3 - T_4') - (T_2' - T_1)}{T_3 - T_2'}$$

Nous connaissons T_1 et T_3 :

T_1 = 15 °C = 273,15 + 15 = 288,15 K
T_3 = 1150 °C = 273,16 + 1150 = 1423,15 K

Il nous faut donc calculer T_2, T_2', T_4 et T_4'.

Pour calculer T_2 et T_4, nous savons que pour une évolution isentropique :

$$pT^{\gamma / (1 - \gamma)} = \text{Cste},$$

donc $p_1\ T_1^{\gamma / (1 - \gamma)} = p_2\ T_2^{\gamma / (1 - \gamma)}$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma - 1) / \gamma}$$

Avec nos hypothèses :

$$\gamma = \frac{Cp}{Cv} = 1{,}40$$

$p_1 = p_4$ = 1 bar = 10^5 Pa

$p_2 = p_3$ = 16 bars = 16.10^5 Pa

D'où :

$$T_2 = 294 \left(\frac{16.10^5}{10^5} \right)^{(1{,}4- 1)/1{,}4} = 288{,}15\ .\ 16^{0{,}286}$$

T_2 = 636,287 K

De même : $$T_4 = T_3\left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{(\gamma - 1)/\gamma}$$

$$T_4 = 1423,15\left(\frac{10^5}{16.10^5}\right)^{(1,4-1)/1,4} = 294 \; . \; 0,0625^{0,286}$$

T_4 = 644,49 K

Les rendements isentropiques du compresseur et de la turbine étant respectivement égaux à 78,7 % et 89 %, on peut calculer T_2' et T_4':

$$\eta_c = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1} = \frac{Cp\,(h_2 - h_1)}{Cp\,(h_{2'} - h_1)} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1} = 0,787$$

d'où : $$T_2' = \frac{T_2 - T_1}{\eta_c} + T_1$$

T_2' = 730,16 K

de même : $$\eta_t = \frac{h_{4'} - h_3}{h_4 - h_3} = \frac{Cp\,(h_{4'} - h_3)}{Cp\,(h_4 - h_3)} = \frac{T_{4'} - T_3}{T_4 - T_3} = 0,89$$

d'où : $T_4' = \eta_t \,.(T_4 - T_3) + T_3$

T_4' = 730,39 K

Connaissant les différentes températures, on peut donc calculer le rendement du cycle :

$$\eta = \frac{(T_3 - T_4') - (T_2' - T_1)}{T_3 - T_2'}$$

η = 0,362 = 36,2 %