

MODÉLISATION NUMÉRIQUE EN PHYSIQUE

TRAVAUX PRATIQUES Nos. 4 (Durée: 3h)

Thermodynamique

Moteur à essence - cycle de Otto

Preliminaires

On suppose qu'un moteur à combustion interne marche à l'octane C_8H_{18} , pour lequel l'enthalpie de combustion est $-5512 \text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

1. Équilibrer la réaction de combustion totale de l'octane dans le dioxygène.
2. Quelle est la proportion approximative de dioxygène dans l'air?

Cycle de Otto

Le cycle à quatre temps d'un moteur à combustion interne (moteur de voiture à essence par exemple) est appelé le cycle de Otto. On peut considérer que le fluide qui travaille est l'air, et l'assimiler à un gaz parfait.

Le cycle se compose des étapes suivantes :

1. Compression adiabatique réversible de A à B
2. Compression isochore réversible de B à C par suite de la combustion d'une petite quantité de carburant. (« explosion »)
3. Expansion adiabatique réversible de C à D (temps moteur)
4. Détente isochore réversible jusqu'en A (échappement/admission)

Le but du TP est de déterminer le changement d'entropie (du système et de l'environnement) pour chaque étape du cycle, et exprimer le rendement r du moteur, en supposant que la chaleur ΔQ est fournie à la deuxième étape. ($r = |W_{\text{total}}|/\Delta Q$)

Première application numérique : le taux de compression typique (V_A/V_B) est 10, dans l'état A $V_A = 4l$, $p_a = 1 \text{atm}$, $T_A = 300 \text{K}$, $V_A = 10V_B$, $C_p = \frac{7}{2}R$

On travaillera en unités du système international et on supposera que la chaleur fournie vient de la combustion totale d'octane en proportions stoechiométriques.

On pourra d'abord tracer les cycles (P,V) , (P,T) et (V,T) .

Le travail fourni à chaque étape pourra soit être évalué à partir du premier principe, soit être estimé numériquement en calculant $\int -PdV$ sur le cycle.

Évaluer ensuite la puissance P fournie par le moteur, en considérant le volume de chaque cylindre, le régime moteur en tours par minute, (1 explosion par quatre cylindres et par tour). (1 cheval-vapeur = 736 W)

Démontrer les effets de la température de l'air ambiant, de la pression d'admission (cas du turbo), du taux de compression, sur le rendement, la puissance et le couple du moteur.

En négligeant les frottements, donner le couple C du moteur en kg.m ($P = C\omega$).

Estimer ensuite la consommation du moteur en litres par heure : calculer pour ce faire la masse molaire de l'octane, de densité approximativement 0,8.

On suppose que la puissance du moteur sert uniquement à vaincre la résistance que l'air oppose à l'avancement d'un véhicule automobile.

Cette résistance a une puissance $C_x \rho S v^3 / 2$ où C_x est le coefficient de pénétration dans l'air (sans dimension) S la surface frontale du véhicule ρ la densité de l'air (1,225 S.I.) et v sa vitesse en m/s.

Par ailleurs, si R est le rayon des roues, la force F qui s'exerce sur le véhicule vaut C/R .

On peut déduire alors l'accélération du véhicule (donnée en s pour passer de 0 à 100 km/h), la pente maximale que peut gravir un véhicule de masse m , ainsi que la vitesse à laquelle se fait cette ascension, à partir de la puissance correspondante.

Calculer numériquement toutes ces valeurs. On pourra faire des boîtes de dialogue pour entrer les paramètres et sortir les résultats. (voir la démo dialog sous Scilab)

On envisagera différents cas, par exemple :

- Citroën 2 CV - deux cylindres, cylindrée 0,8 l, régime max 5000 min.⁻¹, surface 2,5 m², C_x 0,40 m 600 kg, roues de 14 pouces
- Berline française - quatre cylindres, cylindrée 1,6 l, régime max 5600 min.⁻¹, surface 2,5 m², C_x 0,34 m 1100 kg, roues de 15 pouces
- Berline allemande - six cylindres, cylindrée 2,2 l, régime max 5600 min.⁻¹, surface 2,8 m², C_x 0,34 m 1800 kg, roues de 17 pouces
- Cadillac - huit cylindres, cylindrée 5,6 l, régime max 5000 min.⁻¹, surface 3,0 m², C_x 0,4 m 2500 kg, roues de 17 pouces
- Porsche turbo ou non (pression d'admission de l'ordre de 1,4 atm) - six cylindres, cylindrée 3,2 l, régime max 7000 min.⁻¹, surface 2,0 m², C_x 0,32 m 1400 kg, roues de 19 pouces
- Formule 1 - dix cylindres, cylindrée 3,0 l, régime max 12000 min.⁻¹, surface 1,0 m², C_x 0,25 m 700 kg, roues de 19 pouces
- Camion - quatre cylindres, cylindrée 3,0 l, régime max 4000 min.⁻¹, surface 4,0 m², C_x 0,5 m 2500 kg, roues de 24 pouces