
MP35 : MOTEURS

Niveau

Commentaires du jury

- 2017 : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Le jury a apprécié la présentation quantitative d'un moteur de Stirling. Néanmoins, il est important que les candidats, face à un moteur, soient à même d'expliquer pourquoi il tourne.
- 2015, 2016 : Ce montage a été présenté plusieurs fois lors de cette session et a conduit à plusieurs prestations de bonne qualité. Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage

Bibliographie

—

pré-requis

Expériences

—

Table des matières

1 Moteur de Stirling	3
1.1 Mesure des caractéristiques du cycles à vide	3
1.2 Etude en Charge	4
2 Moteur à courant continu	4
2.1 Principe de fonctionnement	4
2.2 Equations de fonctionnement	4
2.3 Etude à vide	5
2.4 Etude Mécanique	5
2.5 Rendement	6

Introduction

On appelle moteur une machine capable d'une conversion d'énergie en énergie motrice. On en utilise depuis l'antiquité : les moulins en sont un exemple.

Aujourd'hui, on maîtrise un grand nombre de moteur différents, répondant à un grand nombre de contraintes (vitesse, puissance, consommation, pollution,...). Aujourd'hui, nous allons en étudier 2 d'entre eux : un moteur thermique, le moteur de Stirling, et un moteur électrique : la machine à courant continu.

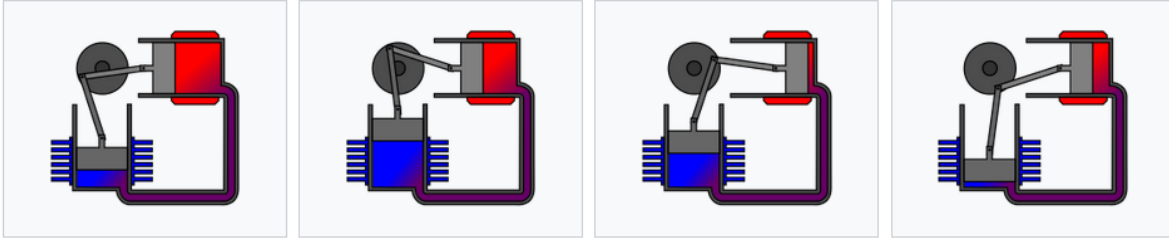


FIGURE 1 – Moteur de Stirling : 1. Le gaz chauffe au contact de la source chaude, ceci tend à dilater le gaz. Le piston à la source chaude arrive en buté et l'expansion se poursuit du côté de la source froide. 2. Le gaz a son volume maximal, le mouvement de la roue entraîne l'abaissement du piston chaud. 3. Le gaz est majoritairement en contact avec la source froide, il se refroidit et le piston froid redescend. 4. Quand le gaz atteint son volume minimal, c'est la roue qui entraîne le piston chaud. Le gaz se retrouve alors majoritairement du côté de la source chaude et le cycle continue (source wikipedia)

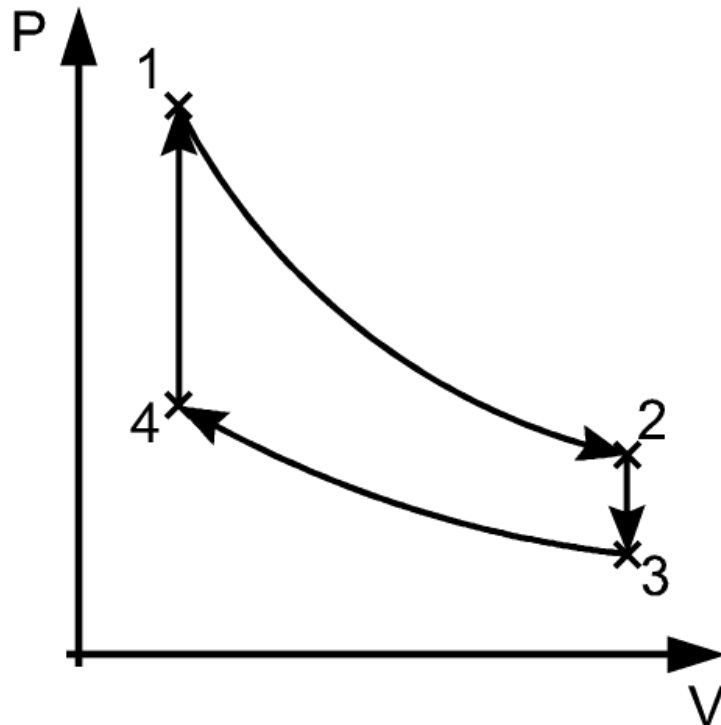


FIGURE 2 – Moteur de Stirling dans le diagramme de Clapeyron : 1 à 2 : détente isotherme, c'est le moment moteur. 2 à 3 : refroidissement isochore. 3 à 4 : Compression isotherme. 4 à 1 Chauffage isochore. (source wikipedia)

1 Moteur de Stirling

Principe <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/stirmota.html> :
En réalité on a un patatoïde à la place du cycle présenté plus haut.

1.1 Mesure des caractéristiques du cycles à vide

Le moteur de Stirling de TP est équipé pour mesurer la pression et le volume.

- La pression est mesuré grâce à une jauge de contrainte (renvoie une tension U_p)
- Le volume est déduit de la position du piston verticale et de la géométrie. (renvoie une tension U_v)

Se mefier de l'initialisation, si on lance mal il faut réinitialisé

Il faut aller vérifier sur la notice mais a priori on a :

$$P = P_0 + \frac{U_p}{10 \times 10^{-6}} \text{ en Pa}$$

$$V = 32 + \frac{12U_v}{4.096} \text{ en cm}^3$$

Mesure de la période des cycle : On récupère U_p et U_v et on mesure la période... (de l'ordre de 0.1s). Pour être précis on mesure plusieurs cycles.

On exporte les donné (un nombre entier de période?) sur regressi.

Tracer le cycle sur un diagramme PV

En calculant l'aire sous la courbe on déduit le travail W (sous régressi : "W = Aire(P,V)") Attention le volume est donné en cm^3 . La puissance du moteur a vide est alors

$$P_{vide} = \frac{W}{T_{cycle}}$$

On peut comparer cela à la puissance fourni par la combustion de l'éthanol :

$$P_c = \frac{m\Delta_c H}{\tau}$$

avec $\Delta_c H = 29.8\text{kJ/g}$.

Mesure de la puissance fourni par la combustion de l'éthanol (en préparation) :

On pèse le brûleur plein, puis on l'allume pendant un temps τ et on le pèse à la fin.(de l'ordre de 100W)

Limite : Ici le rendement est pas bon, c'est normal, c'est un moteur de démonstration. En effet, la température de la source chaude ne correspond pas vraiment à la température de la flamme,et beaucoup de l'énergie de la flamme est dissipé dans l'atmosphère. (De plus on compare les puissance mais faire le rapport des puissance ne correspondrait pas vraiment au rendement (ou l'efficacité) du moteur car cela ne correspond pas vraiment au Q_c)

1.2 Etude en Charge

Etude en charge (Facicule de TP) :

Relier le disque du moteur à la génératrice avec la courroie en caoutchouc. Placer l'interrupteur sur la position générateur, et dévisser la petite ampoule. Allumer le bruleur, faire chauffer le moteur plusieurs minutes, puis le lancer. Lorsque le moteur tourne, brancher sur la sortie Output de la génératrice une résistance à décade (initialement réglée sur $1k\Omega$) en série avec un ampèremètre. Pour différentes résistances R , mesurer l'intensité I tout en veillant à ne pas dépasser pas 80 mA, et mesurer ω en reliant la tension correspondante à P ou V à un multimètre en mode fréquencemètre. Représenter la puissance utile $P_u = RI^2$ fournie par le moteur en fonction de la charge R ou de la vitesse ω . On obtient une courbe en cloche, dont le maximum correspond au fonctionnement nominal du moteur

Le moteur de Stirling est peu bruyant et non polluant (le gaz est dans un système fermé et la source chaude peut être le soleil via un miroir parabolique) cependant son inertie thermique le rend peu adaptable aux changements de couples (comme dans les voitures)

2 Moteur à courant continu

Attention, toujours couper l'induit avant l'inducteur sinon le moteur risque de s'emballer
Pour démarrer le moteur toujours mettre un réostat en série avec l'induit pour éviter une surintensité. Ici il faut choisir le réostat pour qu'il résiste à des courants pas trop élevés

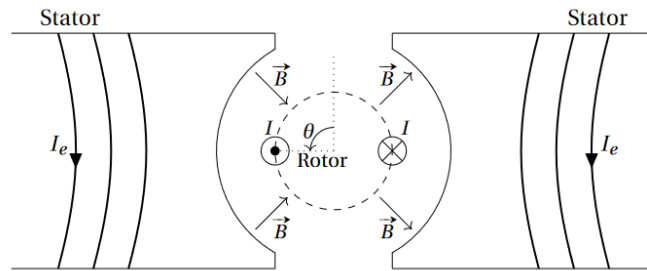


FIGURE 3 – Schéma de principe du moteur à courant continu.

2.1 Principe de fonctionnement

La machine à courant continu est constituée de 2 parties : le rotor et le stator.

Le stator est un circuit fixe jouant le rôle d'inducteur : il produit un champ magnétique radial $\mathbf{B}$ dans la zone du rotor. En pratique, on utilise des électroaimants alimentés ou des aimants permanents pour les petits moteurs.

Le rotor est constitué de lames conductrices parallèles (faire un dessin). Il se comporte comme une spire parcourue par un courant I , se mettant en mouvement dans le champ $\mathbf{B}$ par induction. Le sens du courant est inversé à chaque demi-tour grâce au collecteur, ce qui rend la machine motrice à tout instant. Le circuit électrique du rotor est appelé l'induit.

Il est à noter que la MCC peut fonctionner en générateur.

2.2 Equations de fonctionnement

Pour un induit constitué d'une spire traversée par le flux magnétique Φ_m et parcourue par un courant I , le couple des forces de Laplace s'écrit : $\Gamma_{Lap} = \Phi I$.

Pour un circuit réel, il y a un facteur géométrique à prendre en compte : on écrit : $\Gamma_{Lap} = k\Phi I$. La machine délivre alors en régime stationnaire le couple :

$$\Gamma = \Gamma_{Lap} - \Gamma_r = k\Phi I - \Gamma_r$$

Avec Γ_r le couple résistif du aux frottements dans la machine.

Ce couple entraîne a priori une rotation du rotor à la vitesse angulaire ω . Cette rotation implique l'apparition d'une force contre-électromotrice induite $e = k\Phi_m\omega$ s'opposant au courant I . Pour maintenir la rotation, il faut alimenter l'induit avec une tension :

$$U = e + rI = k\Phi\omega + rI$$

rI désigne la tension due aux perte par effet Joule dans l'induit.

On a alors un moteur dont le fonctionnement est décrit par :

$$\begin{cases} U &= k\Phi\omega + rI \\ \Gamma &= k\Phi I - \Gamma_r \end{cases}$$

2.3 Etude à vide

D'abord étude à vide, sans freiner la MC avec une génératrice, pour déterminer les caractéristiques électriques du moteur. Pour l'inducteur, on envoie la tension $U_e = 110\text{V}$, U est variable. On va vérifier la 1^{re} relation.

- on doit mesurer U_e, U, I aux multimètres. Les valeurs affichées sur les transformateurs sont indicatives. On a aussi besoin de mesurer la vitesse de rotation avec la cellule tachymétrique.
- Alimenter l'inducteur à 110V (c'est la tension où le rendement est maximal).
- Mettre un rhéostat de 10Ω en série avec l'induit, pour éviter une surintensité : on voit que lorsque $\Omega = 0$, l'intensité parcourant l'induit est $I = U/r$, avec r de l'ordre de quelques Ω . **Attention** à respecter les les rhéostats : ne pas dépasser le courant max, donc bien le choisir.
- On alimente l'induit : le moteur commence à tourner. Une fois que le moteur tourne, on peut court-circuiter le rhéostat.
- Mesurer I et de $f = \omega/2\pi$ pour différentes valeurs de U .

Pour avoir des régressions linéaires il faut tracer

$$\frac{U}{I} = k\phi \frac{\omega}{I} + r$$

On attend : $k\Phi \approx 0.58 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{rad}^{-1}$ et $r \approx 8 \Omega$.

Fonctionnement du tachymètre : c'est une machine à courant continu inversée : on mesure une tension proportionnelle à la vitesse de rotation.

Incertitudes :

On regarde la notice des multimètres. Si les fluctuations des valeurs sont plus grandes que les incertitudes constructeur, prendre le dernier digit qui ne varie pas.

2.4 Etude Mécanique

On se place maintenant à U fixée à 60 V, $U_e = 110 \text{ V}$ et Γ variable. On mesure Γ à l'aide d'un couplemètre.

Pour simuler une charge, on utilise la génératrice du banc moteur. Il faut donc l'alimenter en parallèle de l'inducteur.

- De même, alimenter l'inducteur + la génératrice. (On met l'inducteur de la génératrice en parallèle de celle du moteur. Mesurer U_e et I_e (I_e varie peu, pas forcément utilise de le prendre toute le temps, le mettre en paramètre comme U_e)
- Brancher un rhéostat de 100Ω en série avec l'induit.
- Alimenter l'induit. Une fois que le moteur tourne, on peut diminuer le rhéostat : pour retrouver $U = 60V$, il faut fournir plus de puissance avec l'alim du moteur (pas forcément à faire : pour des raisons d'hysteresis, il vaut mieux travailler toujours à la même tension d'entrée dans l'inducteur.)
- On mesure I , Γ , ω , U (en ayant U_e et I_e en paramètre). Toujours vérifié que le courant à la sortie de l'induit de la génératrice ne dépasse pas 2A et que le courant à la sortie de l'induit du moteur ne dépasse pas 3A.
- **Remarque** : la mesure de ω est utile pour le rendement ensuite. Il faut également les valeurs de I , U , I_e et U_e .

On trace alors Γ en fonction de I pour obtenir une autre valeur de $k\Phi$ et la valeur de Γ_r . (On attend Γ_r de l'ordre de 0.05 Newton).

Couplemètre : Il paraît que c'est une jauge de contrainte.

2.5 Rendement

Le rendement correspond au rapport entre la puissance mécanique utilise sur la puissance électrique fournie

$$\eta = \frac{P_u}{P_{tot}} = \frac{\Gamma\omega}{UI + U_e I_e}$$

On trace η en fonction de la puissance utile $\Gamma\omega$. Cela permet de déterminer le point de fonctionnement nominale (courbe en cloche). On détermine ainsi η_n et Γ_n

A partir du rendement, on peut estimer les pertes en régime nominal :

- pertes Joule dans l'induit : rI^2 .
- pertes par frottement mécanique : $\Gamma_r\omega_n$ (on prend la vitesse angulaire de rotation nominale).
- pertes cuivre dans l'inducteur : $r_e I_e^2$.
- Pertes magnétiques, négligeables ?

On ne connaît pas la valeur de r_e : on l'estime en disant que c'est la même que r modulo le nombre de tours de circuit. On peut voir alors l'importance des pertes magnétiques.

Conclusion

Nous avons étudié deux moteurs. Dans les deux cas, les grandeurs qui nous intéressent sont globalement les mêmes, c'est à dire les valeurs de fonctionnement nominal et le rendement associé. On remarque que chaque moteur a ses spécificités et est donc caractérisé par des équations de fonctionnement plus ou moins complexes.

Avantages MMC : Commande simple, fonctionnement réversible, vitesse et puissance stabilisées. Désavantages : coût de production, d'entretien (collecteur). Les MMC étaient beaucoup utilisées dans les métro et les trains.

Avantages Stirling : Compact, relativement silencieux, non polluant(?). Délivre peu de puissance.

Dans tout les cas, nous avons identifié des pertes qui influent sur le rendement et contre lesquelles l'industrie se bat.