

Compte rendu de montage

M35 : Moteurs

Biblio : Grecias de thermo, poly de JBD

Introduction

Notion de rendement : $\eta = \frac{\text{grandeur utile}}{\text{Grandeur coûteuse}}$

I) Moteur stirling

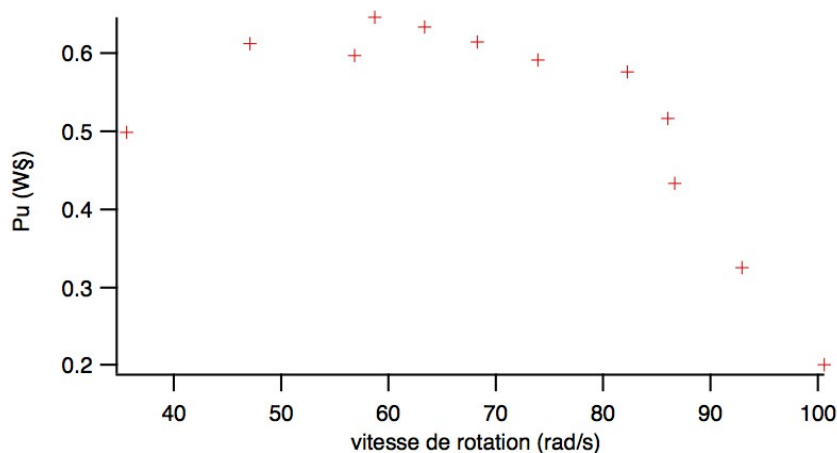
Présentation :

Title:(Unknown)
Creator:(Unknown)
CreationDate:(Unknown)
LanguageLevel:2

2 isochores et deux isothermes, les isochores réversibles ne sont pas adiabatique, elles nécessitent la présence d'une infinité de source de chaleur à des températures, $T_1 - \epsilon$, $T_1 - 2\epsilon$, $T_1 - 3\epsilon, \dots T_2$. Le moteur est donc polytherme.

L'aspect théorique du Moteur Stirling est développé dans le Grecias de Thermo.

1°. Mesure de P_u (puissance utile)



En préparation on réalise le graphe montrant la puissance mécanique en fonction de la vitesse de rotation de l'arbre ω .

Pour la suite on essaye de travailler avec le couple qui nous donne la puissance maximale.

2°. Origine des pertes

Après avoir estimé la puissance chimique délivrée par le brûleur on mesure l'air du cycle PV et on en déduit le rendement thermique. $\eta_{thermique} = \frac{P_{cycle}}{P_{th}}$

$P_{cycle} = \frac{A_{cycle}}{T}$ avec A_{cycle} l'aire du cycle dans le diagramme PV et P_{th} la puissance chimique apportée par le brûleur.

On définit aussi le rendement mécanique comme $\eta_{mécanique} = \frac{P_u}{P_{cycle}}$ avec P_u la puissance utile mesurée à l'aide du tortiomètre et la vitesse de rotation du moteur. On trouve un rendement ridicule.

Le rendement totale s'écrit $\eta = \frac{P_u}{P_{th}}$.

On peut comparer les rendements obtenus expérimentalement aux rendements théoriques suivants :

Le rendement thermique théorique est : $\eta_{thermique}^{calcul} = \frac{(T_1 - T_2) \cdot \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)}{T_1 \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) + \frac{1}{\gamma - 1} \cdot (T_1 - T_2)}$ (cf. Grecias de Thermo)

Le rendement de Carnot est : $\eta_{mécanique} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Finalement le moteur Stirling a un rendement lamentable mais présente l'avantage qu'il utilise une source d'énergie assez facile à mettre en place, on peut imaginer des miroirs venant concentrer les rayons issus du soleil au niveau de la chambre chaude du Stirling.

Aspect pratique du Moteur Stirling :

Mesure de la puissance chimique :

On place le brûleur sur une balance précise à 0.1g et on filme l'évolution de la masse en fonction du temps. Normalement la masse consommée évolue linéairement avec le temps.

Ensuite en connaissant le $\Delta_r H_{Combustion}^0$ de l'éthanol on détermine la puissance chimique.

Étalonnage

Il vaut mieux étalonner la machine en pression avant chaque séance de préparation, pour ce faire il faut venir insérer une seringue au niveau du petit tube en plastique qui est relié au capteur de pression. En connaissant le volume de la seringue et en appliquant la loi des gaz parfaits on peut déterminer la pression que l'on impose au capteur et en relevant la

tension correspondant à cette pression lue sur l'oscillo on détermine la loi (linéaire) qui lie la tension à la pression.

Pour ce qui est de la mesure du volume, l'appareil code sur 5 Volt un volume variant de $V_{min}=32\text{cm}^3$ à $V_{max}=44\text{cm}^3$.

En branchant sur les deux voies de l'oscillo les signaux correspondant à la pression et au volume, en mode XY on obtient directement le cycle du moteur.

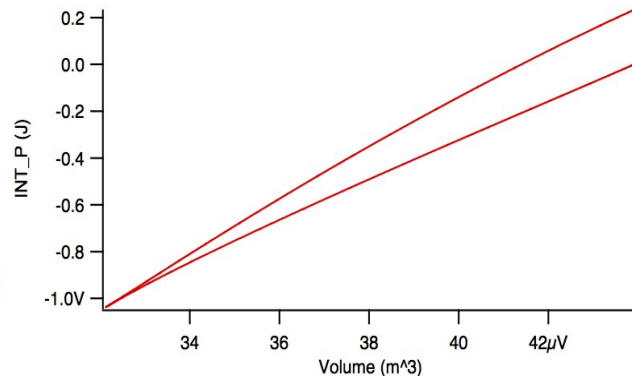
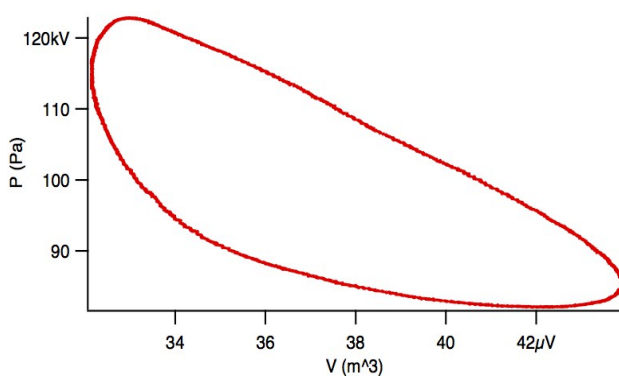
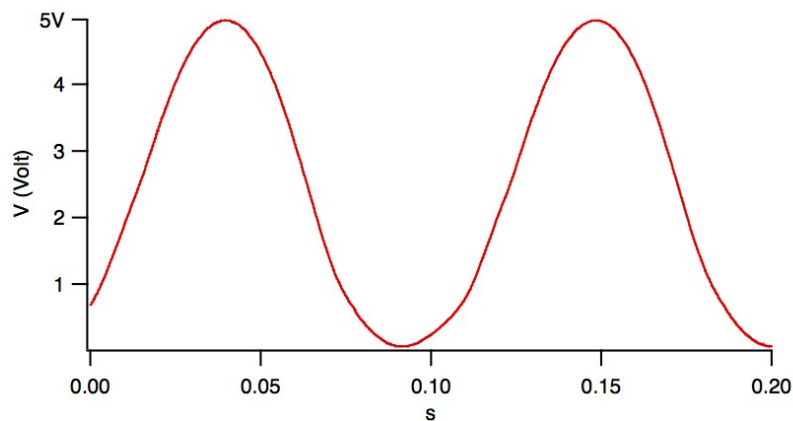
Mesure de P_u

Pour mesurer la puissance mécanique on mesure le couple délivré par le moteur, à l'aide du torsiomètre et de la graduation étalonnée pour, que l'on multiplie par la pulsation du moteur ω lue à l'oscillo (on ne sait pas trop ce que valent les indications sur l'appareil de mesure du Stirling). Les mesure du couple mécanique du moteur sont réalisé en insérant le torsiomètre au niveau de l'arbre du moteur et en serrant progressivement ses dents, attention le moteur met alors un petit moment à se stabiliser. Une fois le régime permanent atteint on peut lire le couple délivré par le moteur directement sur la graduation. On réalise l'opération pour différents serrage et on obtient la courbe

$P_u=f(\omega)$. Attention les mesures ne sont pas très reproductibles.

Une fois que l'on détermine la pulsation pour laquelle la puissance du moteur est maximale on va chercher à caractériser le rendement du moteur pour cette pulsation.

Mesure de l'aire du cycle



Pour le moteur en charge on mesure l'aire du cycle PV (charge pour laquelle la puissance utile du moteur était max), on branche l'oscillo au PC et on fait une acquisition de P et de V. Ensuite on sélectionne une période du signal sur V (partir d'un max ou d'un min, ça simplifie grandement la lecture du graphe de la primitive de P en fonction de V) et les mêmes points pour P et on intègre P en fonction de V (c'est dans le menu Analysis, Integrate, mais attention pour intégrer une wave en fonction d'une autre il faut utiliser la méthode trapézoïdale et pas celle des rectangles) du coup ensuite on trace la wave correspondant à l'intégration en fonction du volume et on obtient deux courbes (intégration par le chemin du haut et par le chemin du bas) et pour obtenir l'aire on fait la différence des deux valeur max des courbes.

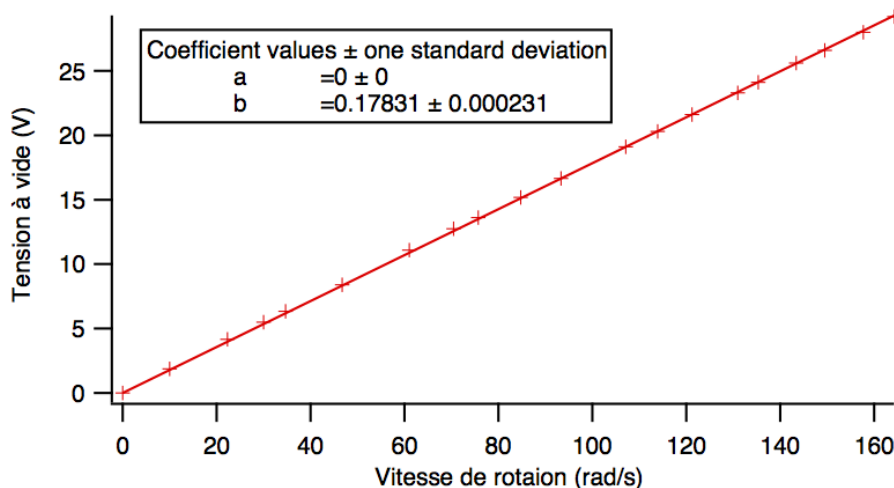
II) MCC : Un exemple de moteur électrique.

1°. mesure de K

Title:(Unknown)
 Creator:(Unknown)
 CreationDate:(Unknown)
 LanguageLevel:2

On mesure la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation. On a préféré mettre le voltmètre aux borne de la génératrice car aucun courant ne la traverse ce qui nous permet d'éviter une mesure de tension prenant en compte la résistance du moteur.

On trace E_v en fonction de Ω et on en déduit K le coefficient de couplage électromécanique.



2°. Etudes des pertes

a) Pertes Joule

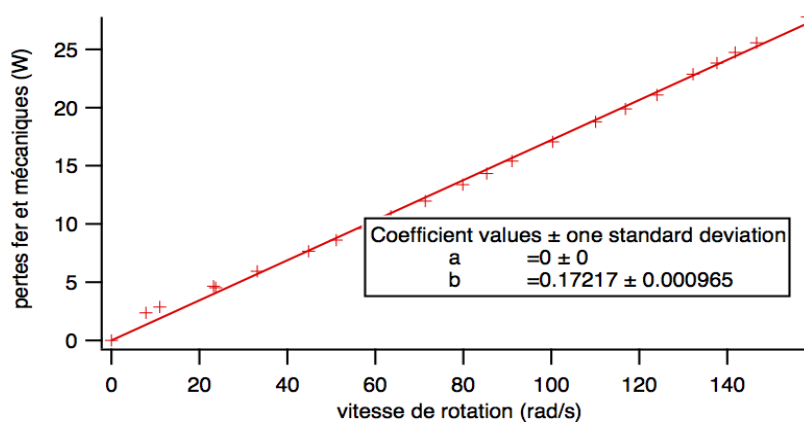
Title:(Unknown)
Creator:(Unknown)
CreationDate:(Unknown)
LanguageLevel:2

On réalise le circuit ci-dessus, l'arbre du moteur ne tourne plus et le rapport U/I nous donne la résistance du moteur. On ne peut pas faire cette mesure de résistance au Ohmmètre en raison de l'existence d'une valeur seuil de la tension aux bornes du moteur.

b) Pertes Fer et Mécaniques

Title:(Unknown)
Creator:(Unknown)
CreationDate:(Unknown)
LanguageLevel:2

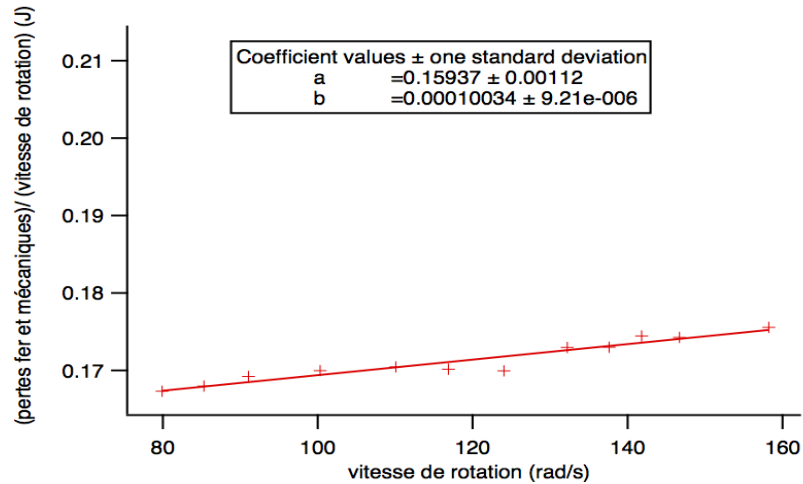
En utilisant ce circuit on mesure la puissance absorbée par le moteur en fonction de la vitesse de rotation. On trace cette puissance en fonction de Ω et étant donné l'évolution linéaire de la puissance en fonction de Ω on définit un couple associé aux pertes mécanique et aux pertes fer noté C_0 .



Rmq :

Pour estimer la part des frottements mécaniques par rapport aux pertes fer on peut repérer l'intensité de démarrage: $C_0(\text{méca}) = K \cdot I(\text{démarrage})$
 [comme la machine ne tourne (presque) pas on a pas de pertes par hystérésis].

Si on a des questions sur la présence de frottement fluide on peut monter le graphe suivant.



Comparaison avec une mesure de J

Title:(Unknown)
 Creator:(Unknown)
 CreationDate:(Unknown)
 LanguageLevel:2

Pour validé cette mesure de C_0 on réalise la manip' suivante, on alimente le moteur puis brusquement on ouvre l'interrupteur, on regarde alors l'évolution de Ω en fonction du temps et on en déduit le rapport C_0/J connaissant C_0 on en déduit J.

Equation mécanique de l'arbre (total donc des deux machines accouplées) :

$$J \cdot d\Omega/dt = C_0$$

Où C_0 est le couple des pertes.

(comme I s'annule effectivement très rapidement devant le temps de mise à l'arrêt du moteur on a

raison de négliger le couple $K \cdot I$)

A l'ocillo on obtient une droite :

donc C_0 indépendant de Ω (frottements «secs»).

La pente = C_0/J

On compare alors cette valeur de J avec celle donnée par le constructeur.

J n'a aucune raison de changer alors que C_0 lui va varier lors du vieillissement du moteur, il est intimement lié à la qualité des patins du stator.

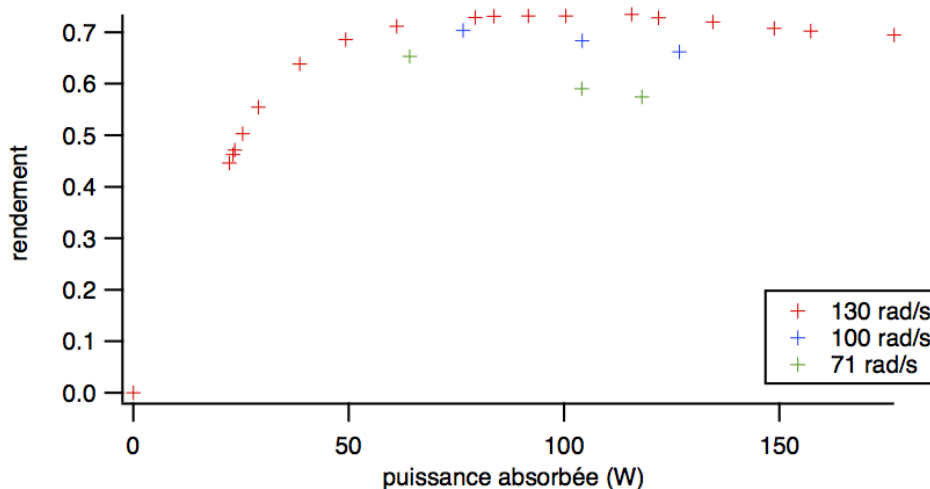
On trouve une valeur de J supérieur à celle annoncée par le fabricant et les incertitudes ne se recoupe pas. Ça peut s'expliquer en partie par le fait que si l'arbre est légèrement désaxé J augmente, et toute les pièces de fixation de l'arbre sur le moteur ainsi que la dynamo tachymétrique augmentent elles aussi J.

Une autre raison viens du fait que la courbe obtenue lors du lâché n'est pas tout à fait linéaire, elle « traîne » un peu (c'est une signature des pertes fluides), ce qu'il faut faire pour avoir une meilleur estimation de J c'est de déterminer la pente à l'origine et pas la pente moyenne tout au long du lâché. La pente à l'origine est plus grande donc on trouve un J plus petit par cette méthode et on se rapproche plus du J donné par le constructeur.

3°. Rendement

Title:(Unknown)
Creator:(Unknown)
CreationDate:(Unknown)
LanguageLevel:2

Pour le rendement on relève la puissance absorbée pour différentes charge et on en déduit le rendement connaissant es pertes fer et mécanique ainsi que les pertes Joule. Pour cette manip' on veillera à bien rester à vitesse de rotation constante. On réalise les mesure pour différentes vitesse de rotation.



On remarque que à P_ absorbée fixée, le rendement est meilleur pour de grandes vitesses.

En effet:

$P_{\text{absorbée}} \text{ fixée} \Leftrightarrow U \cdot I \text{ fixé}$

et augmenter $\Omega \Leftrightarrow$ augmenter U (car $E=K*\Omega$)

Donc:

augmenter Ω à $P_{\text{absorbée}}$ fixée

\Rightarrow diminuer I

\Rightarrow diminuer P_{joule}

L'augmentation des pertes mécaniques et des pertes fer ne perturbe pas cette tendance car leurs évolutions avec la vitesse de rotation est moins importante.

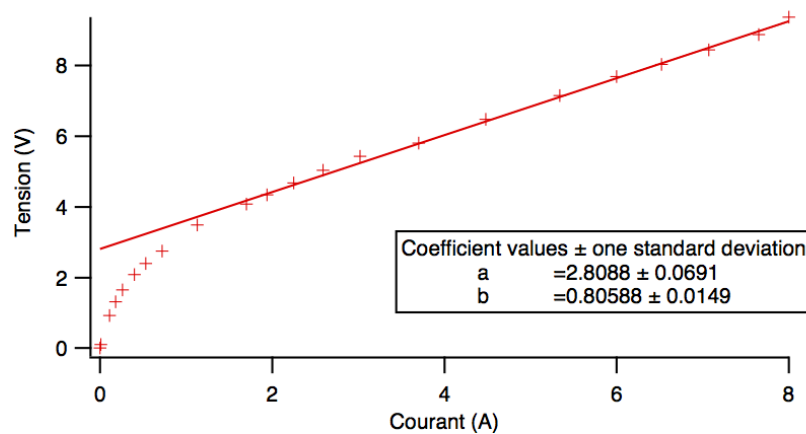
C'est comme pour les lignes à haute tension: on préfère avoir une grande tension et une faible intensité

Le rendement optimale du moteur est de 70-80% c'est convenable pour un moteur de faible puissance. On remarque que le rendement décroît après le maximum en raison de la rapide évolution des pertes Joule.

Questions :

- Pourquoi faire une manip' aussi compliquée pour la mesure de la résistance de la MCC ?

Existence d'une valeur seuil de la tension :



L'ohmmètre délivre un tout petit courant donc la mesure qu'il va faire de la résistance va être totalement fautive en raison de cette tension seuil. La valeur seuil de cette tension va dépendre de l'état des patins, la mesure n'est donc absolument pas reproductible (ne pas montrer le graph pendant le passage mais le garder sous le coude pour les questions).

- Où sont localisées les pertes fer, et à quoi sont-elles dues ?

Dans le rotor, elle sont dues à la rotation du rotor et à l'intensité du champ magnétique mais ici on a une machine à aimant le champ magnétique ne variant pas seule la rotation

du rotor va déterminer les pertes fer.

- Comment savons nous que nous n'avons que des frottement sec dans le moteur ?

On a essentiellement des frottement par contact ici donc essentiellement des frottements sec.

- Dans un moteur à grosse puissance quel problèmes sont posé par d'importantes pertes ?

Il y a un fort échauffement, on doit alors installer des ventilateurs que l'on alimente électriquement ce qui représente un coût énergétique supplémentaire et contribue à la chute du rendement.

- À quoi sert la diode dans la manip' du lâcher à vide de la MCC ?

Le moteur est en partie inductif (en raison de la conception du rotor) donc une grosse discontinuité de l'intensité cause une très forte surtension aux bornes du bobinage. La diode assure la continuité du courant et évite cette surtension.

- Comment avez vous estimé la puissance fournie par le brûleur et les incertitudes qui vont avec ?

On relève l'évolution de la masse en fonction du temps et on utilise l'enthalpie de combustion. Pour ce qui est des incertitudes on sait que l'alcool à brûlé est constitué de 90% d'éthanol en volume mais pour le reste c'est le mystère, généralement les 20% restant sont du méthanol, du coup l'incertitude sur P_{th} c'est la puissance qu'aurait cédé ces 10% de méthanol.

- Comment interprétez-vous le rendement thermique du moteur par rapport à celui calculé pour le cycle théorique ?

Il est plus faible mais on ne suit pas tout à fait le cycle de Stirling, les « isochores » ne le sont pas vraiment.

- Comment à lieu le transfert thermique au niveau de la flamme ?

On a beaucoup de pertes, on ne sais pas trop ce qu'il se passe.

- Qu'est ce qui est caractéristique d'un moteur de Stirling ?

La présence du régénérateur qui permet un transfert thermique entre la source chaude et la source froide.

- Il existe différents type de moteurs Stirling α , β , γ , qu'est ce que c'est ?

Commentaires :

Ce n'est pas indispensable de déterminer le rendement du moteur pour différentes vitesses de rotation.

Le jury attend du moteur thermique, on ne peut pas se satisfaire que de la MCC.

Mieux vaut présenter le Stirling en deuxième, et le lancer 5 à 10 min avant de le présenter. Les mesures ne sont pas très reproductibles et on peut rencontrer quelques soucis donc ce n'est pas l'idéal pour se mettre en confiance en début de montage.

Ne pas hésiter à mentionner le défaut du Stirling, ici on est typiquement dans le cas où c'est difficile de reproduire une courbe. D'ailleurs on n'est pas obligé de présenter nos mesures sur un graphes présentant celles faites en préparation, ça b'a pas vraiment de sens.

Ici il vaut mieux présenter le protocole qui nous a permis de réaliser nos mesures mais ensuite présenter les résultats obtenus en préparation.

Bien expliquer comment on obtient la puissance chimique cédée par le brûleur.

Détailler les différentes étapes qui nous permettent de déterminer l'aire du cycle du Stirling.

C'est à la limite du hors sujet mais ça pourrait être intéressant de discuter de la réversibilité des moteurs présentés.