

Montage 35 - Moteurs

Rebecca Fromentin avec Chloé Galibert et Blandine Martinon, T15

Mardi 8 Décembre 2020

1 Biblio

- Notice moteur Stirling : <http://old.physique-ens-cachan.educ.space/laboratoire/materiel/fichiers/sterling.pdf>
- Poly de cours Electricité de puissance de JBD

2 Objectifs péda et disciplinaires du MP

Ce montage a pour but de caractériser 2 types de moteurs, un thermodynamique (le moteur Stirling) et un électrique (le moteur à courant continu) et de calculer leurs rendements.

Vous montrerez au travers de ce MP que vous êtes capables de :

- câbler un montage électrotechnique
- relever des mesures au puissance-mètre, volt-mètre, ampère-mètre
- utiliser un oscillo
- calibrer le moteur Stirling (en pression notamment)
- utiliser Igor (régression linéaire, acquisition d'un signal de l'oscillo etc ...)
- calculer des puissances thermodynamique, chimique, électrique pour en déduire un rendement

3 Etude d'un moteur à courant continu

Tous les montages de cette partie proviennent du poly de JBD et ne seront pas rappelés ici.

3.1 Détermination des caractéristiques du MCC : K , r_{induit}

J'ai choisi pour le montage de ne faire en direct que la détermination de K . La valeur de r_{induit} étant nécessaire pour la détermination des pertes et du rendement, elle a été déterminée en préparation et pourra être discutée lors des questions (cf figure 1). On avait $r_{induit}=1\Omega$

On trouve K en faisant la régression linéaire de la tension à vide aux bornes de la génératrice en fonction de la vitesse de rotation lue à la dynamo tackymétrique telle que $\Omega = \frac{2\pi*1000V}{6*60}$ (cf figure 2). On avait ici $K=0,174$ V.s/rad. J'avais pris en compte surtout les incertitudes de lecture (voltmètre qui ne donnait pas une valeur figée) et j'avais considéré les incertitudes du voltmètre négligeables.

JBD m'a fait la remarque qu'il serait judicieux, comme pour J , de comparer K à la donnée constructeur.

3.2 Mesure du coefficient de frottement du moteur et vérification du moment d'inertie

On détermine les pertes fer et mécanique du moteur. Elles valent pour UN moteur :

$$\frac{1}{2}(p_{abs} - r_{induit}I^2) = C_0\Omega \quad (1)$$

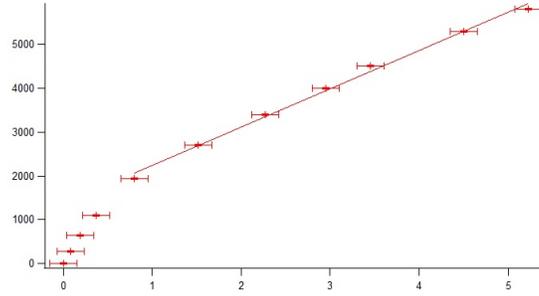


FIGURE 1 – Tension aux bornes du moteur (mV) en fonction de l'intensité, régression linéaire après l'effet de seuil

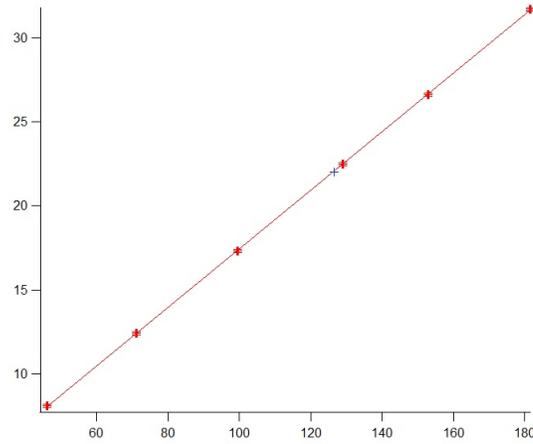


FIGURE 2 – Tension à vide aux bornes de la génératrice (V) en fonction de la vitesse de rotation (rad/s), droite rouge faite en préparation et point bleu en direct

avec $p_{abs} - r_{induit}I^2 = pertes$

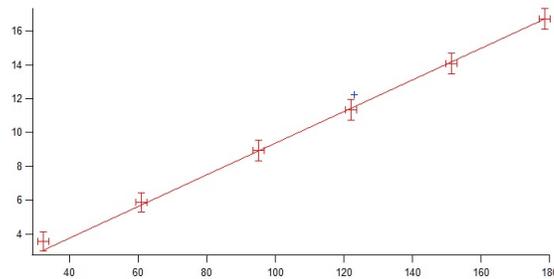


FIGURE 3 – Pertes fer et méca d'un moteur (W) en fonction de la vitesse de rotation (rad/s), droite rouge faite en préparation et point bleu en direct

On trouve $C_0=0,094$ Nm pour un moteur (et non pour le banc moteur+génératrice).

Attention : si vous vous emmêlez comme moi avec les branchements quand il y a trop de fils, au lieu d'essayer d'"adapter" les branchements de la manip précédente, mieux vaut tout débrancher et repartir de 0, ce qui évitera de se mélanger les pinceaux. Astuce de JBD : faire le circuit courant d'une couleur et les branchements des voltmètres d'une autre.

Connaissant C_0 , on peut vérifier J en faisant un lâché à vide du moteur. On a l'équation mécanique

suivante, dans laquelle on peut négliger le terme en KI car l'intensité décroît plus vite :

$$J \frac{d\Omega}{dt} = KI - C_0 \quad (2)$$

On lit la vitesse de rotation en fonction du temps à l'oscilloscope avec la dynamo tachymétrique. En ouvrant le circuit, en mode Single, on visualise la décroissance de la vitesse de rotation quand la machine s'arrête brusquement. On peut ainsi mesurer la pente $\frac{d\Omega}{dt}$ avec les curseurs et connaissant C_0 , on peut déterminer J.

3.3 Mesure du rendement du moteur

On se place à vitesse constante, ici $\Omega=122$ rad/s (ce qui équivaut à 7V sur la dynamo tachymétrique). On détermine :

$$\eta_{elec} = \frac{P_{sortie}}{P_{entrée}} \quad (3)$$

$$\eta_{meca} = \frac{P_{utile}}{P_{entrée}} \quad (4)$$

où $P_{utile} = P_{entrée} - rI_{entrée}^2 - pertes$ en mesurant les puissances d'entrée et de sortie ainsi que l'intensité d'entrée.

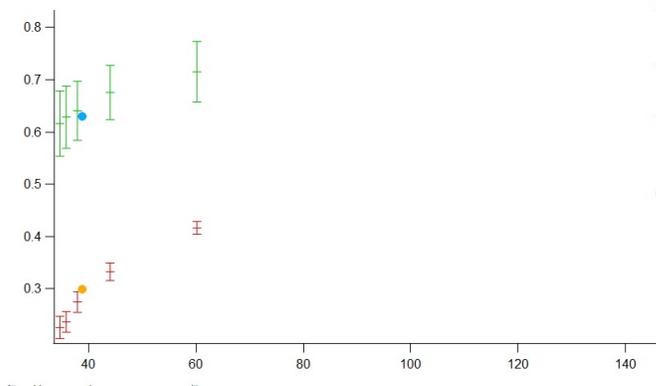


FIGURE 4 – Rendements meca en vert et élec en rouge en fonction de la puissance d'entrée, points faits en direct

Le rendement meca tend vers un maximum de 0,7, ce qui est cohérent pour ce type de machine.

4 Etude d'un moteur Stirling

Un moteur Stirling est théoriquement composé de 2 isothermes et de 2 isochores.

4.1 Etalonnage

- Etalonnage en température : Ne pas suivre la notice, on part du principe que les 2 fils sont à l'équilibre thermique avec l'air ambiant
- Etalonnage en volume : Utiliser la relation où V est le volume en m^3 et U la tension en V.

$$V = (32 + 4,2U)10^{-6} \quad (5)$$

- Etalonnage en pression : Insérer une seringue au niveau du petit tube en plastique relié au capteur de pression. Connaissant le volume de la seringue, on peut déterminer la pression que l'on impose au capteur avec la loi des gaz parfaits différenciée en relevant la tension correspondant à cette pression

sur l'oscillo, en effectuant par exemple une compression de la seringue de 5 mL par pas d'1 mL. Tracer ensuite la droite $U=f(\Delta P)$.

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{\Delta V}{V} \quad (6)$$

où V vaut 20mL (seringue pleine) et P_0 la pression atmosphérique.

4.2 Tracé du diagramme (P,V)

Acquérir sous Igor les données de P et de V visualisées sur l'oscillo. En mode XY, on obtient le cycle du moteur. Penser à moyenner pendant l'acquisition pour avoir un cycle à peu près potable. Attention : le moteur Stirling ne démarre pas seul, il faut le lancer !

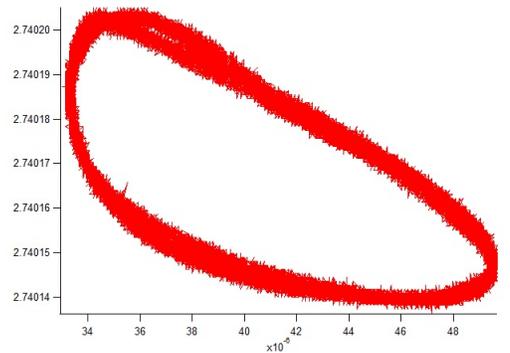


FIGURE 5 – Cycle Stirling (sans moyennage ...) : P en fonction de V

4.3 Calcul du rendement

Mesurer une période T sur le signal temporel pour calculer les puissances ensuite. En utilisant la fonction integrate sous Igor, calculer l'aire du cycle (P,V). Chaque "aller-retour" correspond à un cycle, on lit donc l'aire d'un cycle avec les curseurs (cf figure 6). Attention à l'échelle du graphe : il est possible d'avoir seulement une droite à l'écran, il faut en fait "zoomer" pour voir apparaître les aller-retours !

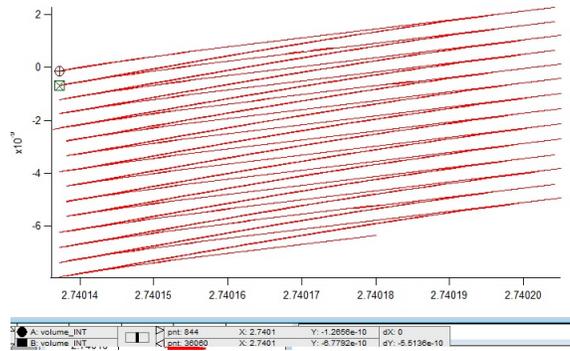


FIGURE 6 – Volume intégré en fonction de la pression

Cela nous fournit la puissance thermodynamique P_{thermo} avec :

$$P_{thermo} = \frac{aire_{du\ cycle}}{T} \quad (7)$$

Calculer la puissance chimique moyenne fournie au moteur (et à l'air ambiant au vu du setup ...) $P_{chimique}$ en pesant le contenant de carburant avant d'allumer le moteur et après l'avoir éteint. En supposant que le carburant

est de l'éthanol pur, on a :

$$P_{chimique} = \frac{\Delta m}{M} \frac{\Delta r H_{\text{éthanol}}^0}{\Delta t} \quad (8)$$

où Δm masse d'éthanol consommée pendant Δt et M masse molaire de l'éthanol.

On peut ainsi calculer

$$\eta_{thermique} = \frac{P_{chimique}}{P_{thermo}} \quad (9)$$

Attention : il faudrait prendre en compte une puissance mécanique pour avoir le rendement "total", en mesurant le couple en sortie de l'arbre. J'ai choisi ici de ne pas le faire par manque de temps et parce que le matos fourni avec le moteur pour le faire est pas du tout précis.

On peut comparer notre rendement (même s'il manque la contribution mécanique) avec le rendement de Carnot :

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{froid}}{T_{chaud}} \quad (10)$$

Différences moteur réel et moteur théorique : mouvement continu des pistons, grandes hétérogénéités de température au sein du moteur, irréversibilités.

5 Questions et commentaires

- Qu'est-ce qu'une dynamo tachymétrique ? Une petite MCC.
- Pourquoi quand la vitesse de rotation augmente, les pertes augmentent ? Car les frottements méca et fer dépendent de la vitesse (dépendance linéaire ou quadratique).
- Choix de l'alim continue ? La MCC a pour courant nominal 8A donc alim de 10A pour pouvoir travailler sur toute la gamme de courant permise par la MCC.
- Rôle de la diode dans la mesure de J ? Elle sert à assurer la continuité du courant dans la MCC, car elle peut se comporter comme un dipôle inductif et ne supporte donc pas bien les discontinuités de courant. On retrouve dans cette manip une structure de hacheur.
- Utilisations concrètes du moteur de Stirling ? Dans les sous-marins car peu de vibrations et dans les missions spatiales avec utilisation du Soleil pour chauffer la source chaude.
- Pourquoi pour la mesure de K la tension est mesurée sur la machine à vide et pas sur la machine alimentée ? Car on prendrait en compte la résistance d'induit en mesurant sur la machine alimentée.
- Comment expliquer la différence entre la valeur mesurée pour J et la valeur constructeur ? Le J mesuré prend en compte l'arbre couplant moteur et génératrice, la dynamo tachymétrique.
- Ne pas dessiner wattmètre comme un dipôle mais comme un quadripôle !
- Mettre le Stirling à chauffer le temps de traiter les données de l'étalonnage.
- Mettre les titres et les légendes des graphiques.
- Pour pouvoir faire plus le Stirling, peut-être faire l'étalonnage en préparation pour pouvoir passer plus de temps sur le cycle lui-même, et ne pas faire la mesure de J pour la MCC pour avoir plus de temps.