

MP35 - MOTEURS.

4 avril 2016

"Il n'y a qu'un seul principe moteur : la faculté désirante."
ARISTOTE

Laura Giausserand & Thibaud Trollet

Commentaires du jury

2015 : Nous rappelons que les moteurs thermiques font partie des dispositifs qui peuvent être présentés dans ce montage.

2014 : Le nouveau montage n'a été choisi par aucun candidat cette année. Il est toutefois maintenu pour la session 2015 compte tenu de la grande richesse et de l'importance industrielle de la physique des moteurs, en particulier des moteurs thermiques.

2013 : Moteurs électriques et thermodynamiques entrent dans le cadre de ce montage.

Jusqu'en 2013, le titre était : Conversion de puissance électrique-mécanique.

2010, 2013 : Comme pour le montage 21 (Production et conversion d'énergie électrique), la notion de point de fonctionnement nominal est importante. D'autre part, les modèles utilisés pour décrire les convertisseurs sont souvent trop simplifiés. Il faut être capable d'interpréter l'écart entre le système idéal et le système réel.

2012 : Il convient d'insister sur l'aspect quantitatif de la conversion électrique-mécanique.

Bibliographie

↗ Quaranta IV

→ Machine à courant continu : pour la pratique ;

↗ Palermo

→ MCC : pour la théorie.

↗ Précis Bréal électrotechnique

→ MCC : pour la théorie.

Expériences

- 🍷 Moteur de Stirling ;
- 🍷 Moteur à courant continu.

Table des matières

1	Moteur de Stirling	2
2	Moteur à courant continu	2

Introduction

On appelle moteur un dispositif permettant de fournir du travail ; plus pratiquement, un moteur est un outil permettant de transformer une énergie (souvent électrique ou thermique) en un mouvement mécanique. Inutile de préciser l'importance de ceux-ci au quotidien et leurs implications : ils sont en développement constant depuis la révolution industrielle pour augmenter leur rendement et leurs capacités afin de faire fonctionner voitures, trains, ... Nous nous intéresserons ici à deux moteurs aux caractéristiques distinctes : le moteur de Stirling, utilisant une énergie thermique, et le moteur à courant continu, se servant d'une bobine parcourue par un courant traversant un champ magnétique pour créer un mouvement.

1 Moteur de Stirling

Moteur de Stirling



Remarque : Je n'ai pas de ref pour le moteur de Stirling ; il y a une notice qui explique les branchements, le reste doit être retenu...

Le moteur est déjà tout fait : il ne reste plus qu'à placer la source chaude et attendre qu'il chauffe avant de pouvoir le lancer. Une fois lancé, on a directement accès au volume et à la pression sous forme de tension : on peut donc tracer très facilement le diagramme (P,V) sous Latis Pro.

Attention : Il faut faire attention aux unités : on récupère des volts pour P et V, la transition en Pa et m^3 se fait à l'aide des données de la notice. Il faut aussi penser à faire la calibration comme indiqué dans la notice.

On remarque tout d'abord que le diagramme est bien loin de celui théorique... Il est difficile de repérer les 4 étapes du cycle : détente isotherme, refroidissement isochore, compression isotherme, chauffage isochore. On s'intéresse maintenant à l'aire sous la courbe : elle représente l'énergie dépensée par le moteur au cours d'un cycle. Je ne sais pas comment on fait sous Latis Pro (sûrement possible), sinon l'exporter en .txt pour l'ouvrir sous Regressi marche bien : Regressi a une fonction AIRE(x,y) qui donne directement l'aire d'un cycle uniquement. On peut ensuite remonter à la puissance du moteur ($P = \frac{dE}{dt}$) en connaissant le nombre de cycles faits par le moteur durant le temps d'acquisition (par exemple en comptant le nombre de périodes à la main sous Latis Pro).

Le moteur offre la possibilité de placer une charge en sortie, pour se servir de celui-ci comme d'une génératrice. Cela permet d'étudier la puissance du moteur (en mesurant U et I en sortie) en fonction de la charge, et en déduire pour quelle charge le fonctionnement est optimal.

2 Moteur à courant continu

Nous allons nous intéresser maintenant à un second moteur : le moteur à courant continu. Celui-ci utilise les phénomènes d'induction pour induire un mouvement mécanique.

Le moteur à courant continu (MoCC) est composé de deux parties principales : l'inducteur et l'induit.

- L'inducteur est là pour créer un champ magnétique, qui permettra la rotation de l'induit. Il est constitué de deux bobines dans lesquelles on fait passer un courant, ce qui par induction crée un champ magnétique constant.

- L'induit est constitué d'un ensemble de spires parcourues par un courant ; l'association du champ magnétique et du courant va créer une force de Laplace s'appliquant sur la spire et donc un mouvement. Pour mieux comprendre ce qu'il se passe, commençons par raisonner sur une unique spire dans un champ \vec{B} .

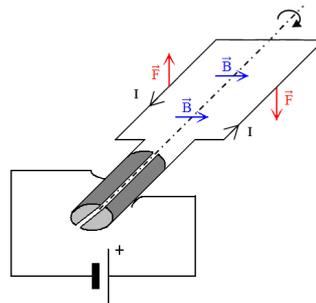


FIGURE 1 – La spire est mise en mouvement grâce à la présence simultanée du champ magnétique et du courant. L'induit est constitué d'un ensemble de spires.

L'inducteur crée le champ \vec{B} ; un générateur crée un courant I . Chaque côté de la spire subit alors une force de Laplace $\vec{F} = \int I \vec{dl} \wedge \vec{B}$. Deux des côtés ont une force nulle (\vec{dl} colinéaire à \vec{B}), les deux autres subissent une force orientée dans des sens opposés (du au changement de sens du courant I); la direction de la force se trouve à l'aide la très sérieuse règle de la main droite. La spire se met donc à tourner suite à l'action de ces forces; on a créé un mouvement mécanique simplement à partir d'énergie électrique. Par contre, si on envoie un courant toujours dans le même sens dans la spire, une fois le plan de la spire perpendiculaire au champ, on voit que les forces vont dorénavant dans le sens opposé : la position où la spire est perpendiculaire au champ est une position d'équilibre stable, et le mouvement s'arrête. C'est évidemment un problème, et il faut donc changer le sens du courant dans la spire à chaque demi-tour afin de garder les forces dans le même sens et faire de la position précédente un équilibre instable. Pour cela, on utilise des balais : comme représentés sur la figure 1, on voit que la spire est accrochée à deux bouts conducteurs séparés par une petite tranche d'isolant; au bout d'un demi-tour, chaque "bout" de la spire change de contact avec les bornes du générateur, et le courant change ainsi à chaque demi-tour.

En pratique, le moteur est donc constitué d'un ensemble de spires s'entremêlant de manière... complexe mais réfléchi.

Il est intéressant de noter que, au lieu d'envoyer un courant dans l'induit et créer un mouvement, on peut aussi tout à fait partir d'un mouvement mécanique et voir apparaître un courant induit sur les spires (par induction de Lorentz) : en récupérant ce courant, on a cette fois-ci un générateur, qui transforme une énergie mécanique en énergie électrique. On parle donc plus généralement de machine à courant continu, et on fait fonctionner cette machine en mode moteur ou générateur; cette machine est dite réversible. On ne s'intéresse dans ce montage qu'au fonctionnement moteur (le MP21 s'intéresse au fonctionnement génératrice).

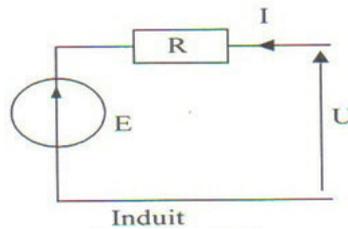


FIGURE 2 – Schéma équivalent électrique de l'induit du moteur. U est la tension envoyée par nos soins, E la force électromotrice créée par la variation du flux à travers la spire, qui s'oppose à la tension envoyée (loi de Lenz) et R est la résistance interne.

Intéressons-nous maintenant aux caractéristiques de la machine, électrique et mécanique. La figure 2 représente un schéma électrique équivalent de l'induit; R est la résistance interne, E la force électromotrice créée par la rotation de la spire dans le champ magnétique ($E = -\frac{d\Phi}{dt}$, $\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$), et qui s'oppose à la tension U appliquée (par la loi de Lenz). En en déduit donc la caractéristique mécanique :

$$U = E + RI \quad (1)$$

Or la force électromotrice va être proportionnelle à la vitesse de rotation et au flux ϕ , d'où :

$$U = k\phi\omega + RI \quad (2)$$

où k est une constante caractéristique du moteur. On a ici la caractéristique électrique du moteur.

L'induit présente une force électromotrice E et est parcouru par un courant I , donc la puissance transmise est : $P = EI$. De plus, l'inducteur tournant à la vitesse ω , on a : $P = \Gamma_{tot}\omega$, où Γ est le couple électromagnétique total : $\Gamma_{tot} = \Gamma + \Gamma_f$, où Γ est le couple utile et Γ_f le couple résistif dû aux frottements. On a donc :

$$EI = (\Gamma + \Gamma_f)\omega \quad (3)$$

Puisque $E = k\phi\omega$, on en déduit :

$$\Gamma = k\phi I - \Gamma_f \quad (4)$$

On a ici la caractéristique mécanique.



MCC : le mettre en route



Brancher l'inducteur sur une de ces bigs machines qui envoient une forte tension continue ; envoyer 110V dans l'inducteur ; cette partie ne sera plus touchée par la suite (dans ce que je fais en tout cas, après il est possible de faire des études dessus aussi si vous voulez). De même, brancher un autre gros bloc sur l'induit. C'est sur celui-ci qu'on va faire varier la tension, et donc le courant, et donc la vitesse de rotation, et donc... Le couple et la vitesse de rotation sont mesurées directement par des boîtiers annexes.

Remarque : Il existe des puissancemètres, qui donnent directement la tension, le courant et la puissance. Pour le MCC, des multimètres font sûrement tout aussi bien l'affaire ; attention cependant si vous vous attachez aux machines à courant alternatifs, car la puissance n'est plus directement le produit de la tension et du courant : il faut prendre en compte le déphasage, et les puissancemètres sont alors bien pratiques.

Caractéristiques du MCC

Quaranta IV



On trace $\frac{U}{I}$ en fonction de $\frac{\omega}{I}$, et Γ en fonction de I ; on est sensé avoir deux droites de même coefficient directeur.

On peut enfin s'intéresser au rendement du moteur : en mettant une charge en sortie (en pratique un rhéostat), la vitesse de rotation s'en trouve affectée, ainsi que les autres paramètres. On peut donc, en mesurant les différents paramètres, remonter au rendement et voir pour quelle tension en entrée et charge en sortie le fonctionnement du moteur est optimal.

La puissance fournie est la somme de la puissance mise dans l'inducteur et l'induit, donc directement : $P_e = UI + U_{ind}I_{ind}$.

Je m'intéresse ici à la puissance mécanique en sortie, donc directement à $P = \Gamma\omega$ (on peut aussi s'intéresser à la puissance électrique en sortie par exemple, et il faudrait dans ce cas prendre $P = U_{sortie}I_{sortie}$). On a donc :

$$\eta = \frac{\Gamma\omega}{UI + U_{ind}I_{ind}} \quad (5)$$

Rendement du MCC

Quaranta IV



On fixe la tension de l'induit ; on fait varier la charge en sortie, et on prend les paramètres utiles pour le rendement. Attention, la tension d'induit peut varier en changeant la charge : dans ce cas, il faut la réajuster pour bien être à tension constante.

On trace ensuite le rendement en fonction de la charge ; on est sensé avoir un maximum, qui nous indique la charge optimale pour cette tension. On peut tracer cette courbe pour plusieurs tensions d'induit différents, on voit alors que le rendement change en fonction de la tension d'induit : on a à la fois une tension et une charge optimale.

Conclusion

Nous avons présenté ici deux types de moteurs, l'un thermique et l'autre électrique. Ces deux moteurs ont plutôt un aspect pédagogique et historique que réellement pratique aujourd'hui : encore utilisé dans certaines anciennes locomotives, les moteurs à courant continus sont par exemple plutôt remplacés par des machines synchrones ou asynchrones, utilisant le courant alternatif triphasé pour créer un champ magnétique tournant et créer le mouvement mécanique à partir de celui-ci.

Questions et commentaires