



HAL
open science

Approche globale de l'étude des efforts développés par un actionneur MMA tubulaire

Jean-Francois Allias, Jean-François Llibre, Dominique Harribey, Carole Hénaux, Daniel Alazard

► **To cite this version:**

Jean-Francois Allias, Jean-François Llibre, Dominique Harribey, Carole Hénaux, Daniel Alazard. Approche globale de l'étude des efforts développés par un actionneur MMA tubulaire. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065164

HAL Id: hal-01065164

<https://hal.science/hal-01065164>

Submitted on 18 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approche globale de l'étude des efforts développés par un actionneur MMA tubulaire

J-F. ALLIAS¹, J-F. LLIBRE¹, D. HARRIBEY¹, C. HENAU¹, D. ALAZARD²

¹Université de Toulouse, INPT, UPS; ENSEEIHT, 2 rue Camichel, BP 7122, F-31071 Toulouse cedex 7, France

¹LAPLACE – CNRS, F-31071 Toulouse, France

²Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, Département DMCS, 31055 Toulouse, France

RESUME – Cet article traite du dimensionnement d'un actionneur électrique de type MMA (Moving Magnet Actuator) tubulaire développant un effort important à basse vitesse pour une fonction de vérin électrique. Un modèle analytique permettant d'anticiper les efforts développés par la machine en fonction de la puissance électrique disponible a été réalisé. D'autre part, des simulations par éléments finis en régime quasi-statique permettent de valider ce modèle. Nous intégrerons dans la conception des contraintes fortes liées à l'absence d'ondulations des efforts ainsi qu'à des problématiques de diffusion de chaleur.

MOTS-CLES – MMA, Modèle Ampérien, Force de Laplace, Optimisation, Halbach array.

1. Introduction

Les systèmes électriques étant de plus en plus fiables, ils présentent de nos jours un intérêt certain pour des applications pour lesquelles on cherche à réduire la masse des systèmes embarqués. Leur facilité de maintenance par rapport à des actionneurs mécaniques ou hydrauliques est aussi un facteur déterminant qui incite au développement des systèmes électriques. Notre application, vise à mettre en œuvre un vérin électrique à guidage linéaire développant un effort massique important à basse vitesse dans une gamme de puissance de l'ordre de 100 W.

La structure envisagée de l'actionneur pour cette application est de type linéaire tubulaire MMA (Moving Magnet Actuator) présentant toutes les caractéristiques d'une machine synchrone à aimants permanents. A partir des données d'un cahier des charges on présentera le pré-dimensionnement de cet actionneur en s'appuyant sur un modèle Ampérien. Nous chercherons par la suite à valider le modèle analytique par des simulations numériques en régime quasi-statique par éléments finis. Deux configurations du translateur à aimants seront envisagées, l'une à aimantation purement radiale [1] et l'autre dans une configuration d'Halbach array [2].

2. Pré-dimensionnement : calcul analytique

Pour l'application envisagée l'actionneur doit développer un effort maximum de 11 daN sans ondulations. De plus des contraintes dimensionnelles nous obligent à minimiser la masse et le volume de l'actionneur. La puissance électrique absorbée par l'actionneur est limitée à 100 W et la température des bobines ne doit pas excéder 180° C. Les contraintes sur les ondulations d'efforts nous ont guidés dans le choix d'une structure à entrefer lisse de manière à annuler tous les effets de saillances à l'origine de celles-ci.

Le pré-dimensionnement de l'actionneur consiste en la mise en œuvre d'un modèle analytique que l'on a choisi de baser sur le théorème d'Ampère, sauf pour la configuration Halbach array où le potentiel vecteur sera utilisé [3]. La production de l'effort s'appuie sur les fondements de la force de Laplace :

$$dF = I \cdot dl \times B \quad (1)$$

La grandeur I représente le courant total circulant dans les bobines et B le pseudo-vecteur du champ magnétique créé à vide par le réseau d'aimants utilisés. La figure 1 décrit une demi-coupe dans le plan $(\mathbf{er}, \mathbf{ez})$ de l'actionneur (configuration Halbach array) vu sur une période d'aimants 2τ .

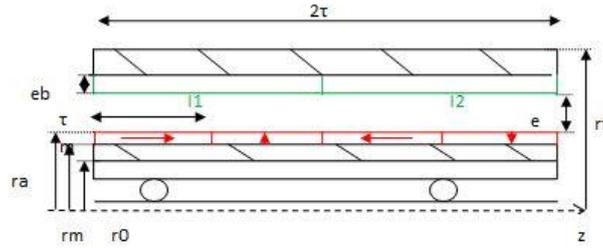


Figure 1 : Demi-coupe du MMA avec configuration Halbach Array

Nous supposons dans un premier temps que dans le cas d'une polarisation radiale des aimants, cf. figure 2, la forme d'onde développée par le déplacement du translateur est de type sinusoïdale :

$$J_r = \hat{j} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\tau}(z_s - v \cdot t)\right) \quad (2)$$

Où : \hat{j} est la valeur crête du champ rémanent des aimants et v la vitesse de déplacement du translateur suivant l'axe z .

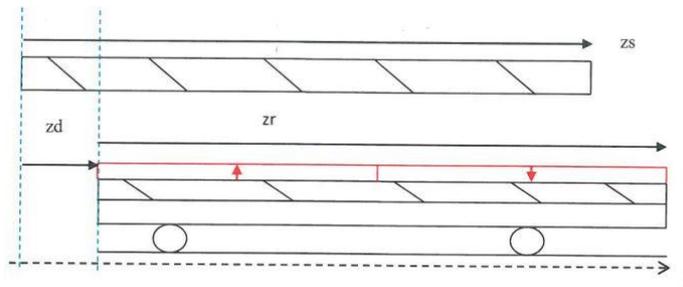


Figure 2 : Déplacement du translateur du MMA en configuration non Halbach

Le bobinage du stator est constitué d'un empilement autour de l'axe z de bobines en formes d'anneaux entourant le translateur. Le stator ne présente pas d'encoches, l'ensemble des bobines (en orange sur la figure 3) sera moulé et maintenu aux extrémités.

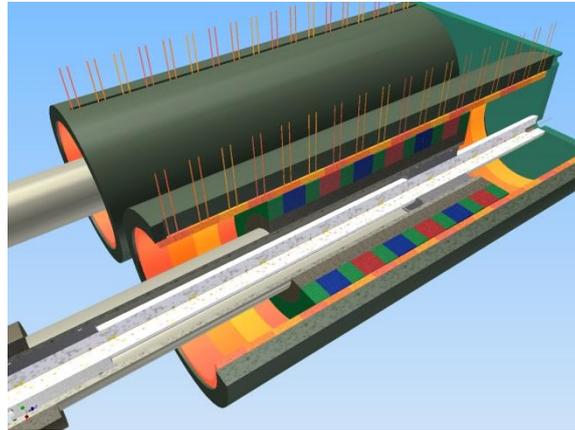


Figure 3 : Dessin d'ensemble de deux actionneurs en parallèle

La modélisation du bobinage conduit à introduire un coefficient de remplissage k_f permettant d'exprimer le nombre d'ampères tours développés en fonction de la surface de bobinage active S_{bob} et de la densité de courant surfacique J_{bob} .

$$k_f \cdot S_{bob} \cdot J_{bob} = n \cdot I \quad (3)$$

L'expression de la force de Laplace (calcul non détaillé ici) pour un système monophasé alimenté en courant continu est donnée ci-après.

$$\mathbf{F} = K \cdot S_{bob} \cdot J_{bob} \cdot \hat{j} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{\tau} \cdot v \cdot t\right) \mathbf{e}_z \quad (4)$$

Où : $K = -2.4p \cdot 2\pi \cdot R_{moy} \cdot K_e(r_i)$,

Avec : R_{moy} le rayon moyen de l'actionneur pris au niveau de l'entrefer et $K_e(r_i)$ un coefficient qui ne dépend que des dimensions radiales présentes en figure 1.

3. Pré-dimensionnement : résultats de simulations

On utilise le logiciel de calcul de champ par éléments finis Ansys, dans l'optique de valider le modèle analytique établi précédemment. La figure 4 présente l'effort calculé analytiquement et l'effort calculé par Ansys suivant le modèle des travaux virtuels (calculs effectués en 2D).

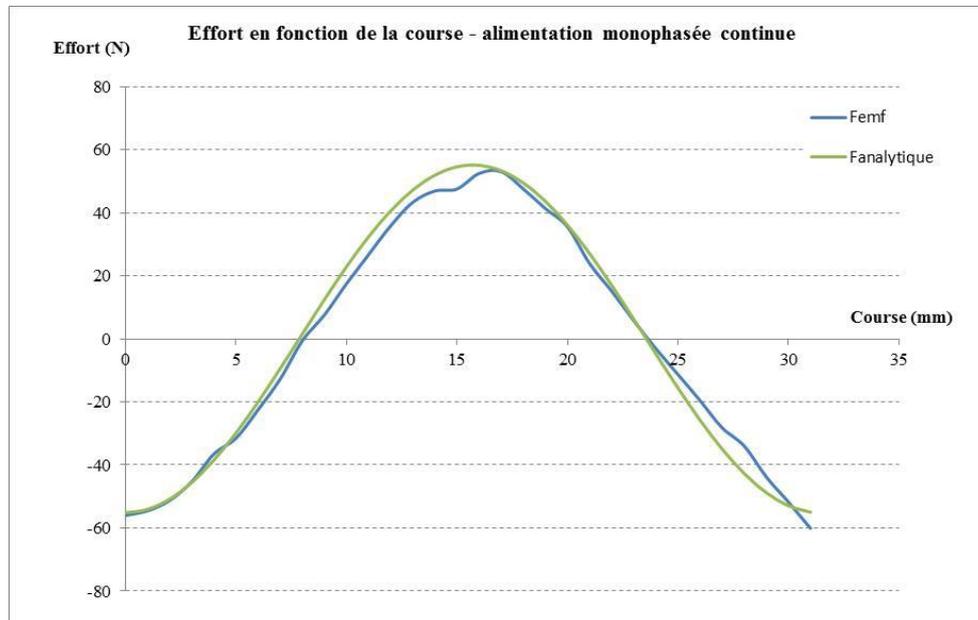


Figure 4 : Effort en fonction de la course – Comparaison calcul analytique et éléments finis

On peut noter que l'écart entre les deux courbes est relativement faible et permet de valider notre modèle analytique. Ces calculs s'appuient sur une structure encore non optimisée du point de vue des dimensions. Il est à noter que pour atteindre les 110 N du cahier des charges, on envisage de mettre deux actionneurs en parallèles (cf. figure 3).

Le modèle analytique étant validé, nous pourrions optimiser la structure de manière à satisfaire les contraintes d'efforts, les contraintes dimensionnelles (masse, volume) et les contraintes thermiques. L'optimisation s'appuiera sur une fonction objectif multicritères suivant la méthode des facteurs de pondération telle que définie par l'expression suivante [4].

$$F_{obj} = -\alpha \frac{F}{\max(F)} + \beta \frac{Th}{\min(Th)} + \gamma \frac{M}{\min(M)} \quad (5)$$

Où : α , β et γ sont les poids respectifs donnés à chaque critère et $\max(F)$, $\min(Th)$ et $\min(M)$ sont les optimums respectifs lors d'une optimisation monocritère de l'effort, de l'aspect thermique et de la masse.

Une fois la structure optimisée, la stratégie d'alimentation doit être arrêtée pour permettre la création d'un effort linéaire sur toute la course de l'actionneur.

4. Conclusion

Une structure d'actionneur linéaire tubulaire de type MMMA (Moving Magnet Actuator) est dimensionné à partir d'un modèle analytique de type Ampérien. Des calculs de champ par éléments finis ont permis de valider ce modèle. Une optimisation multicritères permettra de finaliser le dimensionnement en donnant les dimensions optimales de l'actionneur répondant au cahier des charges. Deux structures de translateur seront comparées : une structure avec des aimants permanents ayant une aimantation radiale et une structure avec des aimants permanents en configuration Halbach array. Pour cette dernière, la formulation de l'effort s'appuiera sur le calcul du potentiel vecteur.

5. Références

- [1] N. Bianchi, « Analytical computation of magnetic fields and thrusts in a tubular PM linear servo motor », IEEE Industry Applications Conference, Vol. 5, pp.21-28, 8-12 Oct. 2000.

- [2] Seok-Myeong; Jang-Young Choi, Sung-Ho lee, Han-Wook Cho, Won-Bum jang, « Analysis and Experimental Verification of Moving-Magnet Linear Actuator With Cylindrical Halbach Array », IEEE Trans On Magnetics, VOL. 40, NO. 4, July 2004.
- [3] Julien Fontchastagner, « Résolution du problème inverse de conception d'actionneurs électromagnétiques par association de modèles analytiques et numériques », Thèse de doctorat en Génie Electrique au LEEI-ENSEEIH-ENST, Toulouse - 7 Décembre 2007.
- [4] F. Messine, B. Nogarède, J.L. Lagouanelle, "Optimal Design of Electromechanical Actuators: a New Method based on Global Optimization", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 34, N. 1, pp. 299-308, 1998.