



HAL
open science

Modélisation multi-physique et optimisation d'un actionneur linéaire deux états, destiné à la commande des soupapes automobiles.

Jean-Laurent Duchaud, Sami Hlioui, François Louf, Mohamed Gabsi

► To cite this version:

Jean-Laurent Duchaud, Sami Hlioui, François Louf, Mohamed Gabsi. Modélisation multi-physique et optimisation d'un actionneur linéaire deux états, destiné à la commande des soupapes automobiles.. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065373

HAL Id: hal-01065373

<https://hal.science/hal-01065373>

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.

Modélisation multi-physique et optimisation d'un actionneur linéaire deux états, destiné à la commande des soupapes automobiles

Jean-Laurent DUCHAUD¹, Sami HLIOUI^{1,2}, François LOUF³, Mohamed GABSI¹, Javier OJEDA¹, Julien MARCINKOWSKI⁴

¹SATIE, CNRS, Universud, 61, av Président Wilson, F-94230 Cachan, France

²CNAM, 292 Rue St Martin, 75141 Paris Cedex

³LMT-Cachan, UMR 8535, ENS Cachan, 61, av Président Wilson, F-94230 Cachan, France

⁴VALEO, 14, avenue des Béguines, Immeuble le DELTA, 95892 Cergy Pontoise

RÉSUMÉ – La présente étude a pour objet la minimisation du volume et de la consommation électrique d'un actionneur électromagnétique. Celui-ci a vocation à déplacer des goupilles dans un mécanisme de levée de soupape variable en un temps plus court qu'un cycle moteur.

Pour réaliser cette optimisation, nous avons développé trois modèles couplés : électrique, mécanique et magnétique. Ceux-ci permettent d'évaluer les performances d'un actionneur pour une géométrie donnée et de vérifier s'il remplit sa fonction. De plus, ces modèles calculent les paramètres des ressorts nécessaires au fonctionnement ainsi que les paramètres de commande.

L'optimisation se fait par la méthode des essais particulières et permet de réduire le volume de l'actionneur de 20%.

MOTS-CLÉS – Modélisation, optimisation, dynamique, électromagnétique, éléments finis, couplage

1. Introduction

Les contraintes économiques et environnementales actuelles incitent les constructeurs à réduire la consommation des moteurs à combustion interne.

Une piste, étudiée depuis 1920 [1] est de faire varier la loi de levée des soupapes d'admission et d'échappement. La méthode la plus couramment utilisée de nos jours est le déphasage d'arbre à cames. Les gains de cette méthode sont limités et certains constructeurs ont développé des systèmes faisant varier la hauteur et la durée d'ouverture de soupape, de manière discrète [2] ou continue [3].

La plupart des systèmes discrets utilisent deux jeux de cames différents [4][5] et des pièces mobiles (poussoirs, linguets ou culbuteurs) en deux parties pouvant être solidarisées ou non par des goupilles, ce qui permet de sélectionner quel jeu de came actionne la soupape. L'actionnement de ces goupilles est généralement hydraulique, le circuit d'huile de la culasse doit être revu, ce qui complexifie leur intégration. De plus, la viscosité de l'huile, qui varie avec l'usure et la température, a un impact sur le temps de transition. Globalement, de tels systèmes sont difficiles à intégrer et ne permettent pas une utilisation à chaque tour moteur, ni de différencier la commande des soupapes pour chaque cylindre. Pour s'affranchir de ces contraintes, il a été envisagé d'utiliser des actionneurs électromagnétiques, plus rapides et plus précis.

Le système étudié ici est un poussoir deux états commandé électro-magnétiquement, représenté en **Figure 1** et **Figure 2**. Selon la position des goupilles, le poussoir impose à la soupape la loi de levée des cames extérieures ou celle de la came intérieure. Les goupilles sont déplacées grâce à un actionneur électromagnétique à réluctance variable à deux états et à bobine fixe. Il doit à la fois être le plus petit possible pour s'intégrer dans l'environnement moteur, mais aussi diminuer au maximum les courants nécessaires à son fonctionnement pour pouvoir le piloter avec une électronique simple pouvant s'intégrer dans le calculateur moteur, ce qui impose une optimisation visant à minimiser sa taille et sa consommation électrique.

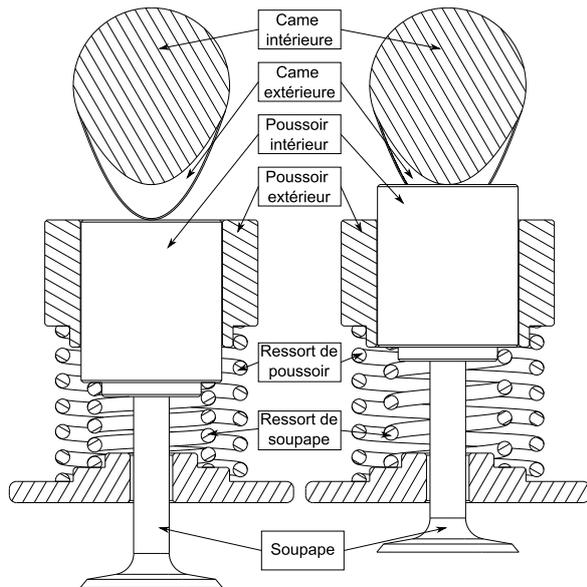


Figure 1 : Poussoir deux états. A gauche poussoirs liés, à droite poussoirs non liés

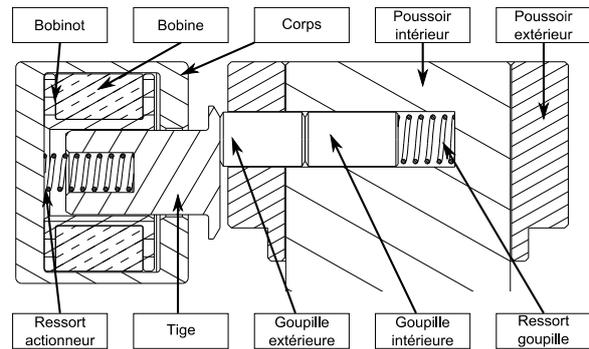


Figure 2 : Coupe de l'actionneur et des poussoirs associés

La modélisation de l'actionneur nécessite trois approches différentes. Tout d'abord, la simulation par éléments finis du comportement électromagnétique du composant est réalisée. Elle permet de déterminer les cartographies des efforts et de l'inductance en fonction de l'entrefer et de l'excitation. Ensuite, l'évolution des paramètres électriques est simulée et est couplée au modèle mécanique afin de déterminer le déplacement des pièces mobiles.

Cette modélisation va permettre dans un premier temps de définir la loi de commande optimale pour une géométrie donnée. L'optimisation du volume de l'actionneur se fera dans un second temps par une méthode exploratoire utilisant le principe des essais particuliers[6].

2. Modélisation

La modélisation fait intervenir plusieurs modèles. La Figure 3 présente l'interaction entre les modèles magnétique, électrique et mécanique.

2.1 Modèle magnétique

Comme décrit précédemment, la première étape du calcul est de déterminer l'effort magnétique et l'inductance de la bobine en fonction de l'entrefer et de l'intensité. Les calculs sont réalisés en éléments finis 2D axisymétriques, non-linéaires. Comme les calculs sont réalisés en stationnaire, il faut noter que les pertes fer ne sont pas modélisées. Ces résultats seront interpolés pour l'intégration numérique des modèles suivants.

2.2 Modèle électrique

Le circuit électrique de l'actionneur est modélisé par une résistance et une inductance variable. Il lie la tension à l'intensité et à la vitesse de la tige d'actionneur.

2.3 Modèles mécaniques

Deux modèles mécaniques ont été développés. Le premier, dans le cas d'une transition non alimentée, est un modèle analytique qui détermine les paramètres structuraux des ressorts. Le second décrit l'évolution des grandeurs mécaniques et électriques lors de l'alimentation de l'actionneur. C'est un problème non linéaire à deux degrés de liberté et une condition de contact. Il est résolu par intégration numérique selon le schéma de Runge Kutta (4'5).

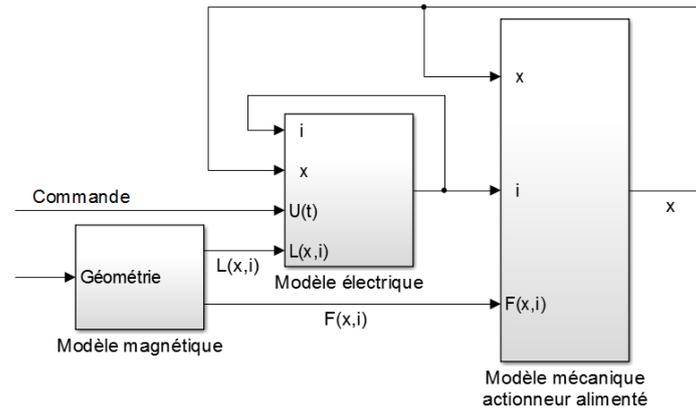


Figure 3 : Interaction entre les modèles mécanique, électrique et magnétique. Les grandeurs notées i , x , U , L et F représentent respectivement l'intensité dans le bobinage, la position de la tige d'actionneur, la tension d'alimentation, l'inductance du bobinage et l'effort magnétique sur la tige d'actionneur.

3. Optimisation des ressorts et de la commande

Afin de simplifier l'électronique de puissance et de se passer de capteur de courant, il a été décidé d'alimenter l'actionneur par deux niveaux de tension. Le premier à tension maximale pour obtenir une montée rapide de l'intensité et le second à une intensité plus faible pour assurer la transition.

Les résultats d'une simulation sont présentés sur la **Figure 4**. Lors de la première phase, le pic d'intensité entraîne une augmentation rapide de l'effort magnétique qui finit par déplacer la tige d'actionneur, libérant ainsi la goupille (phase 2). Lorsque l'entrefer devient petit (phase 3), l'effort magnétique augmente fortement et l'effort de contact entre la tige actionneur et la goupille peut s'annuler. Dans ce cas, les deux pièces se séparent et leurs déplacements sont simulés indépendamment. D'autre part, toujours à faible entrefer, l'inductance augmente, ce qui entraîne une baisse de l'intensité jusqu'à ce que la tige d'actionneur atteigne sa butée en $x = 0$. L'augmentation de l'intensité (phase 4) que l'on aperçoit à partir de 13 ms correspond à la charge de la bobine et tend vers U/R , U étant la tension d'alimentation et R la résistance du bobinage.

De plus, le choix des ressorts d'actionneur et de goupille influe sur les performances du système. Leurs grandeurs géométriques et leurs caractéristiques mécaniques étant liées, il faut en tenir compte lors de l'optimisation. A chaque itération, les ressorts obtenus doivent respecter la norme NF EN 13906-1.

Le premier niveau de tension étant directement lié à la tension de la batterie du véhicule, la minimisation de la consommation électrique ne fera varier que sa durée d'application ainsi que le niveau de tension du second palier et les paramètres des ressorts. Cette optimisation est réalisée grâce à la méthode des points intérieurs.

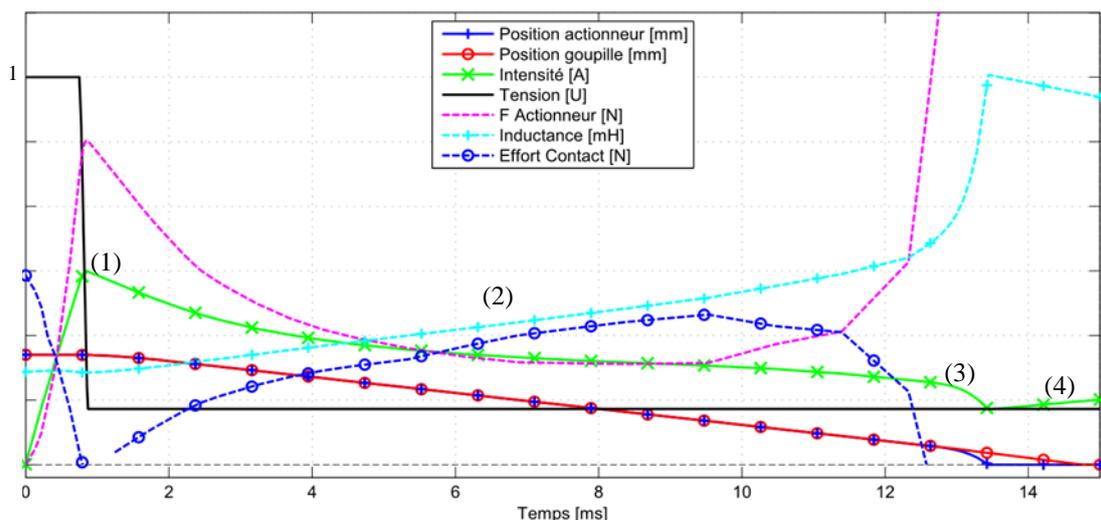


Figure 4 : Evolution des paramètres au cours d'une transition alimentée : position de la tige d'actionneur, position de la goupille, intensité dans la bobine, effort magnétique sur la tige d'actionneur, tension d'alimentation de la bobine, inductance de la bobine, effort de contact de la tige sur la goupille

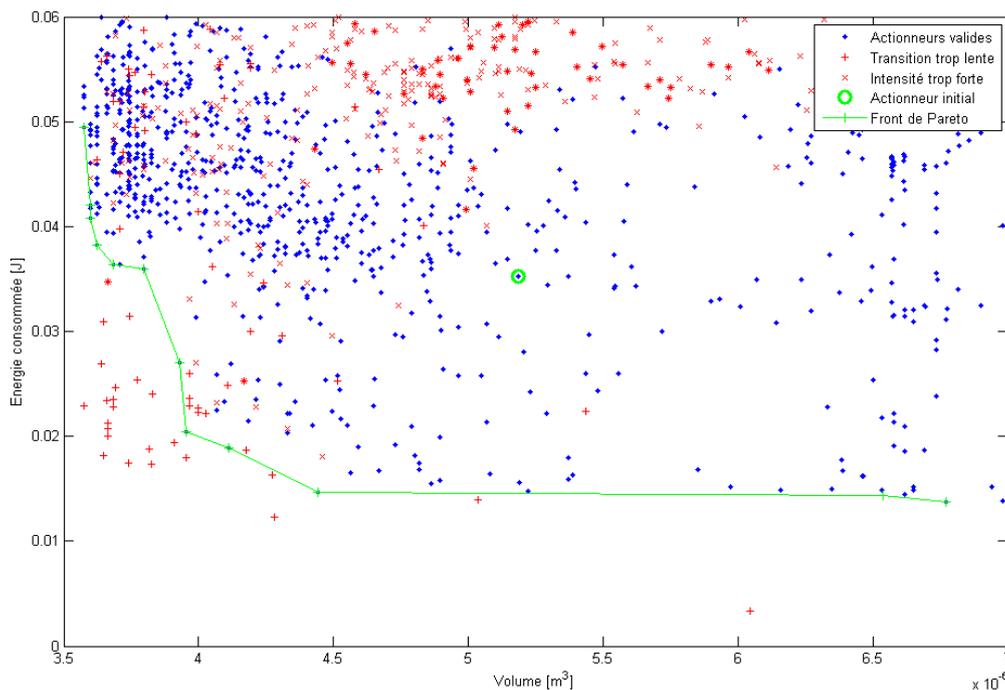


Figure 5 : Actionneurs calculés et front de Pareto dans le plan Energie consommée – Volume

4. Optimisation géométrique

Cette optimisation englobe l'ensemble des modèles précédents et se fait en utilisant une méthode exploratoire utilisant le principe des essais particuliers. Elle consiste à modifier les paramètres géométriques de l'actionneur et le nombre de spires du bobinage pour minimiser le volume et l'énergie consommée.

Les résultats sont donnés sous la forme d'un front de Pareto dans le plan Energie consommée – Volume (Figure 5). Chaque point de ce plan représente un actionneur, c'est-à-dire ses paramètres géométriques, son nombre de spires, les paramètres de ses ressorts et sa loi de commande optimale.

5. Références

- [1] D. Csandy and E. Woydt, "Valve-operating means," *Patent*, no. US1527456, 1925.
- [2] P. E. . Kapus, C. . Spanner, B. . Graf, and G. K. Fraidl, "Cylinder Deactivation with 4 Cylinder Engines - An Alternative to 2 Cylinders ?," in *32. Internationales Wiener Motorensymposium*, 2011, pp. 350–364.
- [3] S. Hara, S. Suga, S. Watanabe, and M. Nakamura, "Variable Valve Actuation Systems for Environmentally Friendly Engines," *Hitachi Rev.*, vol. 58, no. 7, pp. 319–324, 2009.
- [4] S. Kieninger and E. Berndt, "Valve train of an internal combustion engine," *Patent*, no. US07096837, 2006.
- [5] P. Kreuter, "Apparatus for switching the operation of a change valve of a combustion engine," *Patent*, no. US06752107, 2004.
- [6] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 4, pp. 1942–1948.