

Sélection de machine BLDC et sa transmission de puissance pour du positionnement linéaire

Christophe GUTFRIND

EFI Automotive, 77 allée des Grandes Combes, Z.I Ouest Beynost 01708 Miribel

RESUME – L'article présente une approche simplifiée pour pré-dimensionner un actionneur de positionnement linéaire sur la base d'une machine BLDC et d'une transmission de puissance mécanique. A partir de contraintes dynamiques, de charges et de fonctionnement, l'objectif est de pouvoir choisir la machine et de définir la transmission et ainsi d'orienter la méthode d'optimisation de l'ensemble.

Mots-clés—Machine BLDC, Transmission vis-écrou, positionnement, réducteur à engrenage à denture droite.

1. INTRODUCTION

L'actionneur doit positionner une soupape afin de gérer le débit de liquide de refroidissement d'un moteur à combustion interne. Pour définir la topologie de l'actionneur, le choix se porte sur une machine à courant continu, d'une boîte à engrenage et d'une transformation de mouvement rotatif en linéaire par la liaison hélicoïdale. Un tel système est représenté à la fig. 1.

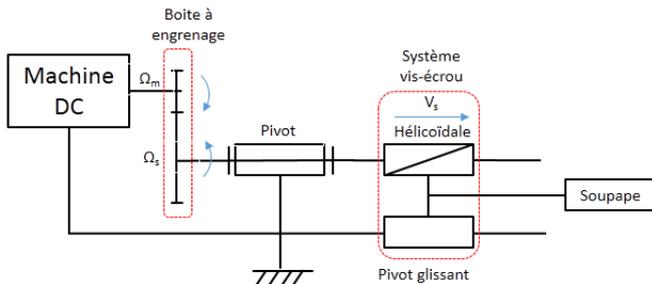


Fig.1 Schéma cinématique de l'actionneur de soupape

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

L'utilisation d'une boîte à engrenage permet d'adapter le besoin en vitesse et en couple de la charge à la machine mais en contrepartie de pertes mécaniques issues de frottement par contact de l'ordre de 10% par contact et d'un encombrement supplémentaire.

L'angle d'hélice α caractérise le système vis-écrou et influe sur son rendement. Le besoin d'irréversibilité du système impose que la charge ne peut entraîner le moteur, soit un rendement nul à la fermeture de la soupape. Cela signifie que l'angle d'hélice doit être inférieur à l'angle de frottement des matériaux en contact. Par conséquent comme le montre la fig. 2, l'irréversibilité est assurée lorsque le pas de filetage est inférieur à 1.57mm pour un diamètre de vis de 5mm dimensionné pour tenir compte de la tenue mécanique au flambage.

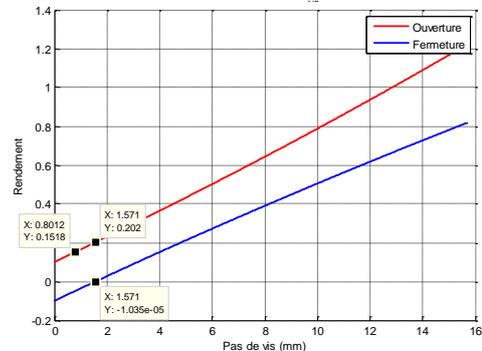


Fig.2 Evolution du rendement du système vis-écrou

Le tableau 1 récapitule le rendement de la transmission en phase d'ouverture selon si l'on associe ou non un réducteur à la machine et au système vis-écrou. Le rendement global est faible mais respecte les contraintes de fonctionnement.

Tableau 1. Evolution du rendement selon le choix de la transmission

Choix transmission vis 5mm	Sans réducteur	1 étage de réduction	2 étages de réduction
Pas de 1.57mm	20,2%	18,2%	16,4%
Pas standard 0.8mm	15,2%	13,7%	12,3%

2.1. Besoin de la dynamique

Comme dans [1], pour respecter les contraintes dynamiques, une trajectoire uniformément accélérée et décélérée est souvent utilisée pour sa simplicité de calcul. Une trajectoire sinusoïdale est assez comparable sur le résultat en position et proche de la réalité lors d'un asservissement en position.

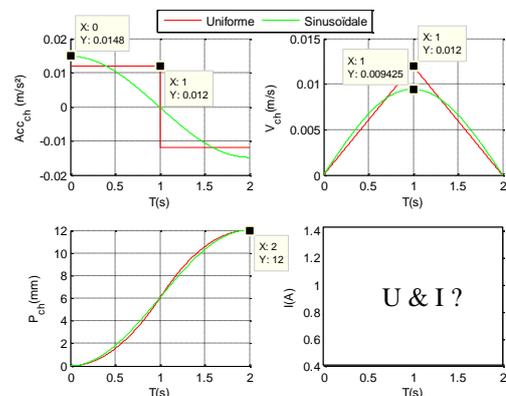


Fig.3 Choix de la dynamique du système

L'objectif final est de déterminer la transmission ainsi que la tension et le courant consommé par la machine choisie.

2.2. Besoin en couple

A partir du principe fondamental de la dynamique PFD appliqué à la machine, la machine doit fournir un couple nécessaire pour vaincre la charge et un couple supplémentaire lié à l'inertie des pièces ramené à la machine.

Le couple de charge moyen ramené à l'arbre moteur s'exprime selon l'angle d'hélice et du cône de frottement φ et des caractéristiques de la boîte à engrenage soit le rapport de réduction $1/N$ et son rendement η tel que :

$$C_{res_rms} = \frac{F_{ch_rms} \cdot D_{vis} / 2 \cdot \tan(\alpha + \varphi)}{N \cdot \eta}$$

Connaissant le profil de position, on détermine le profil de vitesse et de l'accélération Acc_{ch} . Le couple issu de l'inertie moteur et de la charge ramené à la machine s'exprime par :

$$C_{inertie} = \left(J_m + J_{ch} \cdot \frac{Pas^2}{4\pi^2} \cdot \frac{1}{N^2} \right) \cdot Acc_{ch} \cdot N$$

La somme de ces couples met en évidence la variation du besoin en couple selon le rapport de réduction et le pas de vis pour respecter la dynamique et permet de sélectionner le choix de la transmission comme le montre la fig. 4.

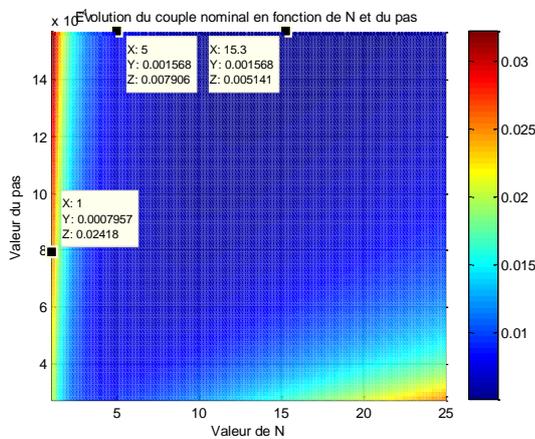


Fig.4 Evolution du couple nécessaire à la machine

Avec une inertie au rotor de la machine de $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$ correspondant à une gamme d'inertie de machine, on constate que la part de l'inertie pour de faibles rapports de réduction est nettement négligeable. Seule la charge est prépondérante et varie selon le pas de vis. Plus on augmente le rapport de réduction, plus la machine devra fournir du couple pour accélérer le mécanisme selon le besoin dynamique.

Si l'on souhaite minimiser la valeur du couple à fournir, il faudra choisir une transmission à engrenage avec un rapport de réduction de 1:15.3, et un pas de vis de 1.57mm. Le couple moyen de la machine sera de 5mN.m.

Cependant les rendements vis-écrou entre un pas standard de 0.8mm et un pas de 1.57mm avec 2 étages de réduction donnent des valeurs proches, 15.2% pour l'un et 16.4% pour l'autre. De cette faible différence, le besoin de compacité ne privilégie pas l'intégration d'une boîte à engrenage et oriente vers un pas d'hélice spécifique pour l'application.

3. PROTOTYPAGE

Au final, le besoin en couple de l'application se situe entre un couple nominal de 24mN.m et d'un couple maximal de 40mN.m, et selon les données constructeurs, le choix se porte sur une machine BLDC Maxon EC32 [2] associée au système vis-écrou, présentés à la fig. 5.

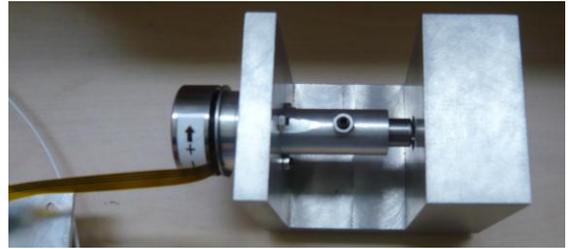


Fig.5 Prototype de l'actionneur

Connaissant ainsi les caractéristiques de la machine et la trajectoire choisie (accélération et vitesse), les valeurs de tension et de courant consommé par la machine sont obtenues à partir du PFD et de l'équation électrique d'une machine à courant continu. La fig. 6. présente ces évolutions :

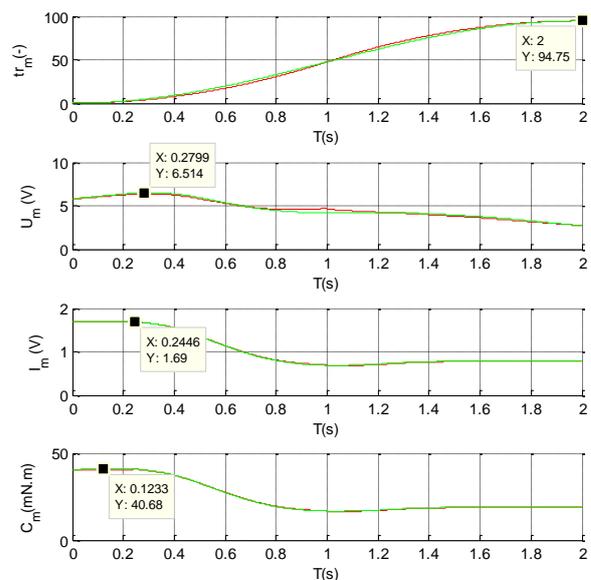


Fig.6 Evolution électromécanique de la machine

Le choix de l'une ou de l'autre des trajectoires choisies pour le pré-dimensionnement ne différencie que très peu le courant et la tension nécessaire à la machine. Avec une tension maximale de 6,5V et d'un courant maximal de 1,7A, la machine permet de déplacer la soupape à la trajectoire voulue sur une course de 12mm en 2s avec presque 100 tours mécaniques de la machine.

4. CONCLUSION

Cette méthode simple sur la base d'un modèle moyen permet d'orienter le choix de la transmission et d'une machine du commerce. Cependant, la transmission n'étant pas intégrée de manière optimale, la seconde étape est un développement de machine optimisée sous contraintes avec la transmission vis-écrou intégrée.

5. REFERENCES

- [1] W-W. Chiang « Optimal DC motor design for constant voltage seek motion », IEEE transactions on Energy Conversion Vol.5,N°1, March 1990.
- [2] <http://www.maxonmotor.com/maxon/view/content/product>