

Comment prévoir le rendement d'un système d'entraînement électrique

16 septembre 2016, 02:00

Pieter Beyl

Pour les concepteurs de machines, la consommation en énergie est un critère important, mais souvent difficile à évaluer correctement. C'est pourquoi Flanders Make a développé une méthode servant à prévoir le rendement des systèmes d'entraînement électrique.

Sur la base des données figurant sur la plaque signalétique et des informations complémentaires mentionnées dans les fiches techniques, on a défini un modèle des pertes du moteur et de la commande du moteur, utilisable hors des points de fonctionnement indiqués dans la documentation des fabricants. L'incidence des réglages de la commande électrique a été prise en compte.

Cette approche spécifique ouvre les possibilités suivantes :

- possibilité de comparer la consommation en énergie de différentes combinaisons moteur/commande de moteur pendant la phase de conception, et cela pour les points de fonctionnement non indiqués dans la documentation;
- possibilité d'évaluer l'effet de réglages déterminés sur le rendement total, sans devoir faire des mesures;
- possibilité d'intégrer les pertes électriques dans le modèle de machine dans sa globalité. Il est possible ainsi de mieux tenir compte de l'impact sur la consommation en énergie du trajet suivi ou de la stratégie de commande.

Conception tenant compte de l'efficacité énergétique

La consommation en énergie est souvent un aspect important dont il faut tenir compte pendant la phase de conception d'une nouvelle machine ou lorsqu'il s'agit de l'adaptation d'un concept existant. En plus des pertes mécaniques dans les paliers et transmissions, les pertes au niveau du système d'entraînement électrique jouent également un rôle non négligeable. Réaliser une évaluation correcte de ces pertes n'est pas toujours facile.



Un système d'entraînement électrique et le diagramme de Sankey correspondant

L'illustration ci-dessus représente de manière schématique un système d'entraînement électrique et le diagramme de Sankey. Le rendement du moteur dépend fortement du point de fonctionnement (nombre de tours, couple), et des paramètres de réglage de la commande de moteur. Le rendement de la commande de moteur est typiquement plus élevé que celui du moteur et il varie selon les réglages de la commande et, dans une moindre mesure, selon le point de fonctionnement du moteur.

Les données concernant les pertes au niveau du moteur et de la commande figurant dans la documentation technique (plaque signalétique, fiches de données, ...) sont précises, d'une manière générale, mais elles se limitent aux conditions de service nominales. Par contre, on trouve rarement des informations sur les points de fonctionnement en dehors de cette plage de service, par exemple, à une vitesse moteur plus grande ou plus petite.

Le but de la présente étude (qui constitue un chapitre de l'étude de base stratégique réalisée dans le cadre du projet Multiphys ICON) est de permettre une extrapolation des données nominales disponibles concernant les pertes au niveau du moteur et de la commande pour n'importe quel point de fonctionnement. A cette fin, on a utilisé un modèle physique approchant. Ce modèle sert également à inclure l'incidence de certains réglages de la commande moteur. En première instance, on a considéré uniquement les systèmes d'entraînement électrique basés sur une machine à induction.

Montage du dispositif de mesure

Pour le volet expérimental de la présente étude, un dispositif de montage Flanders Make (ligne d'entraînement hydrostatique) a été utilisé. L'étude a porté sur la machine à induction 55 kW entraînant la pompe hydraulique dans ce montage. Les moteurs électriques de l'autre côté de la ligne d'entraînement hydrostatique ont été utilisés comme charge.

En première instance, des mesures de rendement exploratoires du moteur et de la commande ont été réalisées pour divers points de fonctionnement et réglages de la commande moteur, considérés intéressants. Le but était de voir quels sont les paramètres et phénomènes intéressants à prendre en considération, et ceux qui ne le sont pas. Ces expériences ont permis de tirer les conclusions ci-après :

- La valeur de réglage de la fréquence (2, 4 ou 8 kHz) a une incidence significative sur les pertes moteur. Les différences possibles sont dans la plage d'incertitude du montage (~100 W).
- Les pertes dans la commande augmentent fortement avec la fréquence PWM, comme attendu.
- Les paramètres de la commande ayant un impact significatif sur le rendement du moteur sont ceux produisant une variation du flux (et donc de la tension) du moteur. Il s'agit, entre autres, des paramètres qui définissent le comportement atténuation du champ.

En deuxième instance, on a également mesuré un nombre de caractéristiques complètes de rendement pour différents sets de réglages de la commande moteur. Pendant ces mesures, on s'est efforcé de maintenir la température aussi constante que possible. Les résultats ont été utilisés pour valider les modèles développés.

Modélisation

Moteur

Comme point de départ, on a utilisé le classique schéma équivalent d'un moteur asynchrone. Toutefois, ce modèle n'inclut pas tous les phénomènes de pertes. De plus, quelques grandeurs dans ce schéma ne sont valables que pour la vitesse nominale et le flux nominal. Par conséquent, on a ajouté les affinements ci-après :

- impédance du rotor, comme fonction du glissement
- pertes "fer", comme fonction du nombre de tours moteur et flux du moteur [1]
- pertes par courant de fuite, comme fonction du flux moteur et de la fréquence électrique
- pertes dues à la résistance de l'air, comme fonction de la vitesse du moteur

Le modèle utilise des liens physiques simplifiés pour extrapoler les différents postes de pertes relatifs aux conditions nominales, vers d'autres points (quelconques) de fonctionnement.

Le défi qui reste alors consiste à répartir les données pertes dans les conditions nominales, dans les différentes catégories : pertes "cuivre", pertes par courant de fuite, pertes "fer", pertes rotor et pertes mécaniques [2]. Le plus souvent, on trouve suffisamment de données pour pouvoir faire cette distribution. Les données importantes disponibles à cette fin sont, entre autres, les données figurant sur la plaque signalétique, le couple de basculement, le rendement à charge partielle et la résistance stator. Au cas où des informations déterminées feraient défaut, on peut faire une hypothèse, basée le plus souvent sur les données provenant d'autres moteurs similaires.

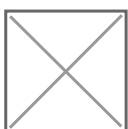
Commande de moteur

Pour la modélisation des pertes dans la commande moteur, on a utilisé la méthodologie décrite par Casanellas [3]. Les données requises sont les caractéristiques des IGBT et des diodes. Ces données sont accessibles via le numéro de type du pack des IGBT. A défaut de ces informations, on peut choisir un pack IGBT adéquat, en se basant sur la spécification du courant de la commande moteur.

Validation

Sur base de la méthode décrite ci-dessus, on a élaboré un modèle de machine à induction 55 kW et commande moteur utilisé dans le montage d'essai. Seules les données disponibles au préalable ont été utilisées. Les mesures présentées ci-dessous servent uniquement pour la validation.

Dans la deuxième figure, les pertes moteur prévues sont illustrées à côté des pertes moteurs mesurées. Etant donné l'absence de mesure concernant la température interne du moteur, une barre d'erreur a été ajoutée pour les écarts de température de 20 K par rapport à la température de service nominale.



Comparaison des pertes prévues/pertes mesurées concernant une machine à induction 55 kW à différents points de fonctionnement. Les barres d'erreur indiquent les pertes prévues pour un écart de température de 20 degrés par rapport à la température nominale. L'un des points de fonctionnement était incompatible avec une température plus élevée, par conséquent la barre d'erreur correspondante est représentée de manière incomplète dans le graphique.

Conclusion

Principales caractéristiques de la stratégie de modélisation présentée :

- Le modèle est basé uniquement sur les données disponibles via le fabricant. Aucune autre mesure supplémentaire n'a été utilisée.
- Le modèle inclut tous les phénomènes de pertes significatifs. On a utilisé des liens physiques approchants pour l'extrapolation des données nominales disponibles vers les points de fonctionnement demandés.
- La fréquence de commutation et le flux ou la tension du moteur sont des données à l'entrée dans le modèle. Ce qui permet de prédire l'effet de tel ou tel réglage de la commande moteur.

La validation sur le système d'entraînement électrique avec la machine à induction 55 kW montre que cette stratégie est utilisable. Les tendances générales ont été prévues de manière correcte. Les différences entre le modèle et la mesure se situent, souvent, dans la marge d'une température incertaine de service.

Vous trouverez plus de résultats et autres cas d'étude avec des lignes d'entraînement efficaces en énergie sur le site web du projet (entretemps terminé) [EcoMechatronics](#).

Sources

- [1] Bertotti, Giorgio. "General properties of power losses in soft ferromagnetic materials." *Magnetics*, IEEE Transactions on 24.1 (1988): 621-630.
- [2] IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators (ANSI), IEEE Std 112-2004 (IEEE 112-1991, 1996).
- [3] Casanellas, F. "Losses in PWM inverters using IGBTs." *Electric Power Applications*, IEE Proceedings Vol. 141. No. 5. IET, 1994.

Auteurs



Pieter Beyl