

# Modélisation thermique des moteurs électriques avec des données en libre accès

03 février 2017, 01:00

Pieter Beyl

*Pour choisir le moteur optimal pendant la conception, une approche basée sur un modèle peut apporter une solution adéquate, en général plus efficiente que la réalisation de différents prototypes. Toutefois, les données des différents moteurs que l'on souhaite comparer ne sont pas toujours disponibles. Une nouvelle méthode basée sur des informations en libre accès permet de contourner l'obstacle.*

La méthode développée par la KU Leuven-Electa et Flanders Make a été appliquée et validée sur des moteurs synchrones à aimant permanent, un moteur typique pour les servo-applications.

Le couple maximum des moteurs synchrones à aimant permanent (PMSM) est limité par la température maximum dans les bobinages et noyau. Avec refroidissement, ce type de moteur peut prêter au-dessus de ses spécifications, avec la même durée de vie. On peut ainsi sélectionner un moteur plus compact, moins cher, et plus léger pendant la conception de la machine. Ce qui apporte une possibilité de réduire le coût des machines et de les rendre plus compactes, plus puissantes et plus économes en énergie.

## Sélection du moteur idéal

Pour sélectionner un tel moteur idéal en se basant sur un modèle, qui tient compte des limitations de température, le moteur modélisé doit :

- permettre de calculer les températures des composants du moteur (entre autres, bobinages et noyau)
- les données doivent être publiques, en libre accès (feuilles de données et dimensions brutes)
- permettre d'intégrer le modèle du système de refroidissement pour ce moteur (comme dans la figure 1 la ci-dessous)



*Schéma du moteur avec refroidissement par chemise d'eau (figure 1)*

Le développement de cette approche basée sur un modèle est l'un des volets dans le projet de recherche Opcope ('Optimale koeling van vermogenslektronica en andere elektrische componenten met een hoge vermogensdichtheid'). Dans le cadre de ce projet, des modèles de

paramètres discrets pour moteurs et systèmes de refroidissement ont été établis. Ces modèles de paramètres discrets peuvent être présentés comme des réseaux électriques équivalents. Le moteur modélisé inclut les paramètres suivants :

- inputs mécaniques : vitesse du moteur et couple
- outputs électriques : tension et courant
- outputs thermiques : températures des composants de base
  - o bride et enveloppe (boîtier, carter)
  - o bobinage
  - o rotor
  - o noyau

## Modélisation



(Cliquez pour agrandir)

*Structure du modèle en quatre parties : estimation des paramètres, modèle électrique, modèle thermique et un modèle de refroidissement (figure 2)*

La figure ci-dessus montre la structure utilisée. Les inputs pour le modèle sont la vitesse du moteur et le couple. Sur la base de ces inputs, différentes capacités de perte ont été déterminées dans le modèle électrique (surtout pertes fer et pertes dans le cuivre). Ces pertes sont elles-mêmes dépendantes des températures. Dans le modèle thermique, où les inputs sont les capacités de perte et les capacités de refroidissement, la courbe de température est déterminée par les différents composants du moteur. En parallèle, il y a un modèle de refroidissement qui détermine les capacités de refroidissement sur base des différentes températures extérieures. Ce modèle peut être adapté à différentes formes de refroidissement, par exemple, refroidissement de la bride, refroidissement par chemise d'eau (comme illustré dans la figure 1), refroidissement naturel, etc.

Les différents modèles requièrent la saisie d'une série de paramètres. Ces paramètres sont déterminés sur la base de données de moteur, soit facilement disponibles, soit faciles à évaluer. La détermination des paramètres sur la base des données de moteur est intégrée dans le modèle avec le bloc 'Parameter estimator' illustré dans la figure 2.

## Validation

Le modèle a été validé par application d'un nombre de cycles différents à deux moteurs. De plus, on a également comparé avec les résultats de la simulation portant sur un modèle de moteur validé dans une étude précédente, où toutes les données du moteur étaient exigées. Le modèle s'est révélé dans tous les cas précis jusqu'à 10 °C dans les situations dynamiques et précis à quelques degrés centigrades dans les circonstances stationnaires, à ce sujet il convient de souligner que c'est le modèle de refroidissement qui a la plus grande incidence sur la précision. Un exemple est illustré dans la figure 3 ci-dessous, qui montre dans les différentes circonstances les températures 'steady-state' estimées et mesurées. Le moteur modélisé peut donc être utilisé pour sélectionner le moteur, qu'il s'agisse de la commande du moteur à régime constant, ou des circonstances dynamiques.

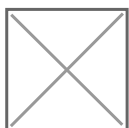


*Comparaison des températures mesurées/simulées (figure 3)*

## Applications

Le moteur modélisé a été développé pour les moteurs synchrones à rotor cylindrique et aimants permanents montés en surface. Il est toutefois facile à adapter vers d'autres types de machines synchrones, comme indiqué en jaune dans la figure 4 ci-dessous. Les machines asynchrone, par exemple, les moteurs à induction (en brun, dans le schéma), nécessitent une adaptation plus approfondie, notamment les pertes au rotor doivent être implémentées.

Le modèle donne des résultats valables jusqu'à la vitesse nominale. Aux vitesses plus élevées, il faut tenir compte de l'affaiblissement du champ. Le modèle est valable jusqu'à une plage de puissance de 10 kW. Pour les puissances plus élevées, il faut réexaminer certains aspects, par exemple, la modélisation de la conduction thermique par l'entrefer.



*Types de moteurs : encadré en vert, le moteur pour lequel le modèle a été réalisé ; encadré en jaune, les moteurs pour lesquels les modèles devraient être utilisables après une adaptation minimale ; encadré en brun, les moteurs pour lesquels les modèles pourraient être adaptés (figure 4)*

Le **23 février**, Flanders Make organise son premier [Seminar Day](#) de l'année 2017, au cours duquel les entreprises concernées présenteront les résultats et le savoir acquis ('lessons learned') relatifs à trois projets. Les résultats du projet Opcope seront également présentés.

## Sources

[1] Description du projet Opcope 'Optimale koeling van vermogenselektronica en andere elektrische componenten met een hoge vermogensdichtheid' sur le site [www.flandersmake.be](http://www.flandersmake.be)

[2] Joris Lemmens, 'Optimal Control of Traction Motor Drives Under Electrothermal Constraints', Ph.D. dissertation, KU Leuven, Heverlee, 2014

[3] Jeroen Stuyts et al., 'Modelling of Permanent Magnet Synchronous Machines Using Commonly Available Data', déposé pour publication

## Auteurs



Pieter Beyl