

Thermische modellering van elektrische motoren met vrij beschikbare data

03 februari 2017, 01:00

Pieter Beyl

Om een optimale motorkeuze tijdens het ontwerp te maken, kan een modelgebaseerde aanpak een doeltreffende oplossing bieden, wat doorgaans efficiënter is dan het bouwen van verschillende prototypes. De motorgegevens van de verschillende motoren die men wil vergelijken, zijn echter niet altijd voorhanden. Een nieuwe methode op basis van vrij beschikbare informatie maakt dit nu mogelijk.

De methode die KU Leuven-Electa en Flanders Make ontwikkelden, werd toegepast en gevalideerd op synchrone motoren met permanente magneet, een typische motor voor servotoepassingen.

Het maximum koppel van synchrone motoren met permanente magneten (PMSM) wordt beperkt door de maximumtemperatuur in windingen en kern. Door koeling kan zo'n motor boven zijn specificaties presteren met behoud van levensduur. Hierdoor kan een compactere, goedkopere en lichtere motor geselecteerd worden tijdens het machineontwerp. Dit biedt een opportuniteit om machines tegelijkertijd goedkoper, compacter, krachtiger en ook energiezuiniger te maken.

Selectie ideale motor

Om op een modelgebaseerde manier zo'n ideale motor te selecteren, rekening houdend met de temperatuurbependingen, is een motormodel nodig dat:

- toelaat om de temperaturen van de motoronderdelen (o.a. windingen en kern) te berekenen
- enkel publiek beschikbare informatie zoals datasheet en ruwe afmetingen vereist
- men kan integreren met het model van het koelsysteem voor deze motor (zoals in onderstaande figuur 1)



Schema van motor met mantelkoeling (figuur 1)

De ontwikkeling van deze modelgebaseerde aanpak is een onderwerp van het Opcope-project ('Optimale koeling van vermogenslektronica en andere elektrische componenten met een hoge vermogensdichtheid'). Hierin worden discrete parametermodellen voor motoren en koelsystemen opgesteld. Deze discrete parametermodellen kunnen voorgesteld worden als equivalente

elektrische netwerken. Het motormodel bevat volgende parameters:

- Mechanische inputs: toerental en koppel
- Elektrische outputs: spanning en stroom
- Thermische outputs: temperaturen van basisonderdelen
 - o Flens en behuizing
 - o Winding
 - o Rotor
 - o Kern

Modellering



(Klik om te vergroten)

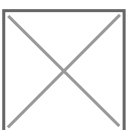
Modelstructuur in vier delen: parameterschatting, elektrisch model, thermisch model en een koelmodel (figuur 2)

Bovenstaande figuur toont de gebruikte modelstructuur. De inputs voor het model zijn het toerental en koppel. Op basis van deze inputs worden verschillende verliesvermogens bepaald in het elektrische model (vooral ijzer- en koperverliezen). Deze verliezen zijn zelf afhankelijk van de temperaturen. In het thermische model, waar de verliesvermogens en koelvermogens de input zijn, wordt het temperatuurverloop bepaald van de verschillende motoronderdelen. Parallel is er een koelmodel dat de koelvermogens bepaalt op basis van de verschillende uitwendige temperaturen. Dit model kan aangepast worden aan verschillende vormen van koeling, zoals flenskoeling, mantelkoeling (zoals in figuur 1), natuurlijke koeling, enz.

De verschillende modellen vereisen de ingave van een reeks parameters. Deze worden bepaald op basis van motorgegevens die op een eenvoudige manier te verkrijgen of goed te schatten zijn. Het bepalen van parameters vanuit de motorgegevens is geïntegreerd in het model met het blok 'Parameter estimator' uit figuur 2.

Validatie

Het model werd gevalideerd door twee motoren een aantal verschillende cycli te laten doorlopen. Bovendien werd ook vergeleken met simulatieresultaten van een gevalideerd motormodel uit een eerder onderzoek, waarvoor wel alle motordata vereist is. Het model was telkens nauwkeurig tot 10 °C in dynamische situaties en enkele °C in stationaire omstandigheden, waarbij opgemerkt wordt dat het koelmodel de grootste invloed heeft op de nauwkeurigheid. Een voorbeeld is gegeven in onderstaande figuur 3, waarbij geschatte en gemeten steady-state temperaturen getoond worden in verschillende omstandigheden. Het motormodel kan dus gebruikt worden voor motorselectie, zowel bij aansturing van de motor in constant regime als in dynamische omstandigheden.



Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde temperaturen (figuur 3)

Toepassingen

Het motormodel werd ontwikkeld voor synchrone motoren met cilindrische rotor en oppervlakte-gemonteerde permanente magneten. Het is echter eenvoudig aan te passen naar andere types van synchrone machines, zoals aangeduid in het geel op onderstaande figuur 4. Asynchrone machines, zoals inductiemotoren (aangeduid in bruin), vereisen een grondigere aanpassing, waarbij onder andere rotorverliezen moeten geïmplementeerd worden.

Het model geeft geldige resultaten tot de nominale snelheid. Bij hogere toerentallen moet immers rekening gehouden worden met veldverzwakking. Het model is geldig tot een vermogensbereik van 10 kW. Voor hogere vermogens moeten er bepaalde aspecten opnieuw bekeken worden, zoals de modellering van de warmtegeleiding door de luchtspleet.



Types motoren: in groen de motor waarvoor het model gemaakt werd, in geel waar de modellen na minimale aanpassing bruikbaar zouden moeten zijn en bruin waarvoor de modellen aangepast kunnen worden (figuur 4)

Op **23 februari** houdt Flanders Make haar eerste [Seminar Day](#) van 2017, waarop betrokken bedrijven resultaten en 'lessons learned' uit drie projecten zullen presenteren. Ook de resultaten van het Opcope-project komen aan bod.

Bronnen

[1] Beschrijving project Opcope 'Optimale koeling van vermogenselektronica en andere elektrische componenten met een hoge vermogensdichtheid' op 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', ingediend voor publicatie

Auteurs



Pieter Beyl