

# Thermische Modelling van elektrische motoren met vrij beschikbare data

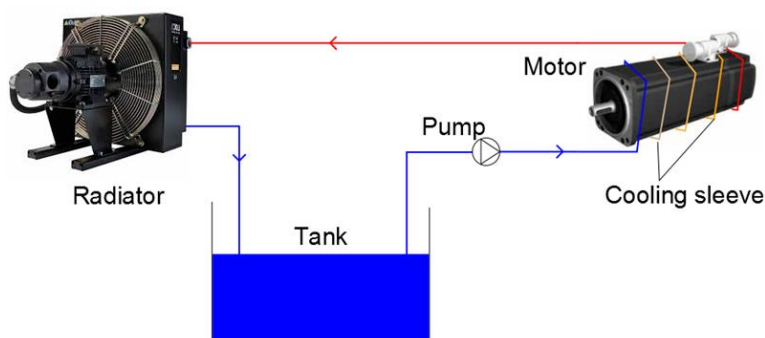
Een optimale motorkeuze maken tijdens het ontwerp is vaak niet eenvoudig. Een modelgebaseerde aanpak kan hier een doeltreffende oplossing bieden en is doorgaans efficiënter dan het bouwen van verschillende prototypes. Het is echter niet vanzelfsprekend dat de motorgegevens van de verschillende motoren die men wil vergelijken, voorhanden zijn. Daarom hebben KULeuven-Electa en Flanders Make binnen het OPCOPE-project [1] een methode ontwikkeld om dit te doen op basis van vrij beschikbare informatie. De methode werd toegepast en gevalideerd op permanent magneet synchrone motoren, een typische motor voor servo-toepassingen.

## Introductie

Het maximum koppel van permanent magneet synchrone motoren (PMSM) wordt beperkt door de maximum temperatuur 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 machine-ontwerp. Dit biedt een opportuniteit om machines tegelijkertijd goedkoper, compacter, krachtiger en ook energiezuiniger te maken.

Om op een modelgebaseerde manier zo'n ideale motor te selecteren, rekening houdend met de temperatuur beperkingen, 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 Figuur 1)



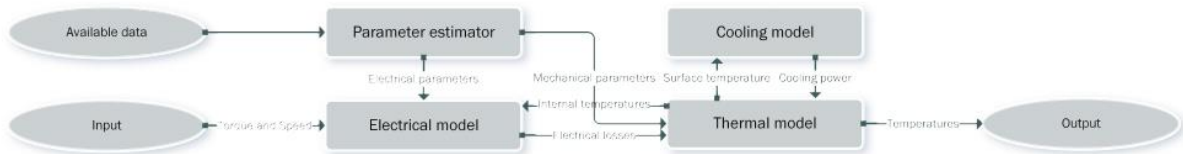
Figuur 1: schema van motor met mantelkoeling

De ontwikkeling van deze modelgebaseerde aanpak is een onderwerp van het OPCOPE-project [1]. 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 basis-onderdelen
  - o Flens en behuizing

- Winding
- Rotor
- Kern

## Modellering



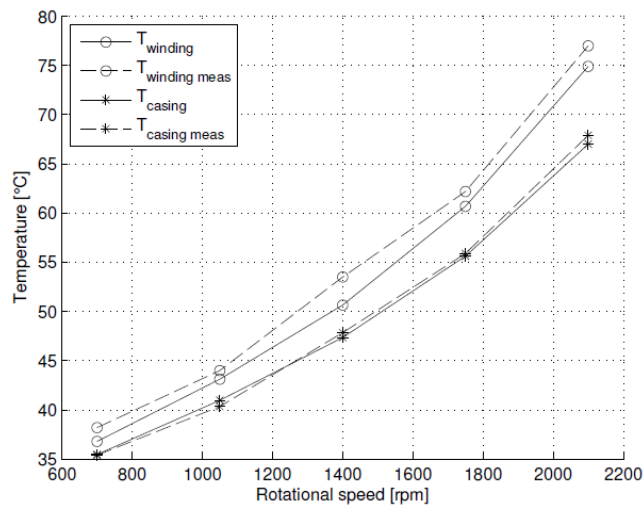
Figuur 2: Modelstructuur in 4 delen: parameterschatting, elektrisch model, thermisch model en een koelmodel.

Figuur 2 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 koper verliezen). Deze verliezen zijn zelf afhankelijk van de temperaturen. In het thermische model, waar de verliesvermogens en koelvermogens de input zijn, wordt het temperatuursverloop 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 ...

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 [2]. 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 Figuur 3, waarbij geschatte en gemeten steady-state temperaturen getoond zijn in verschillende omstandigheden. Het motormodel kan dus gebruikt worden voor motorselectie, zowel bij aansturing van de motor in constant regime als in dynamische omstandigheden.

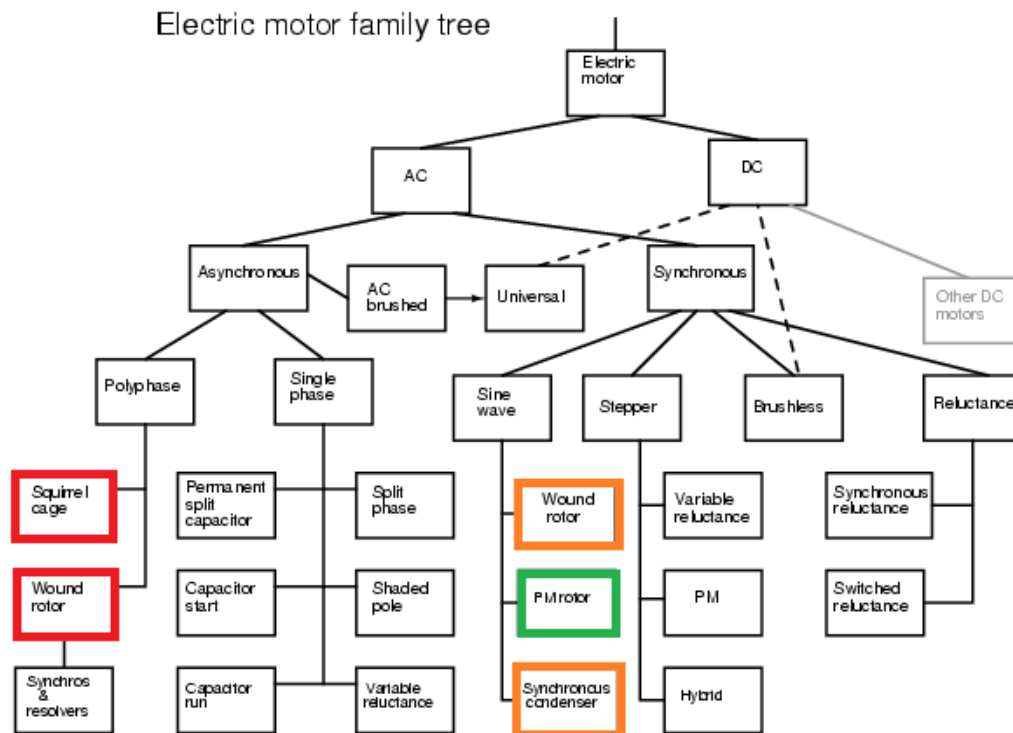


Figuur 3: Vergelijking tussen gemeten en gesimuleerde temperaturen

## 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 synchrone machines, zoals aangeduid in het oranje op Figuur 4. Asynchrone machines, zoals inductie motoren (aangeduid in rood), vereisen een grondigere aanpassing, waarbij o.a. 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.



Figuur 4: Types motoren. In het groen de motor waarvoor het model gemaakt werd, in oranje waar de modellen na minimale aanpassing bruikbaar zou moeten zijn, en rood waarvoor de modellen naar aangepast kunnen worden.

## Referenties

- [1] Beschrijving project opcope “Optimale koeling van vermogenselektronica en andere elektrische componenten met een hoge vermogensdichtheid” op [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”, ingediend voor publicatie bij IEEE transactions on Industrial Electronics