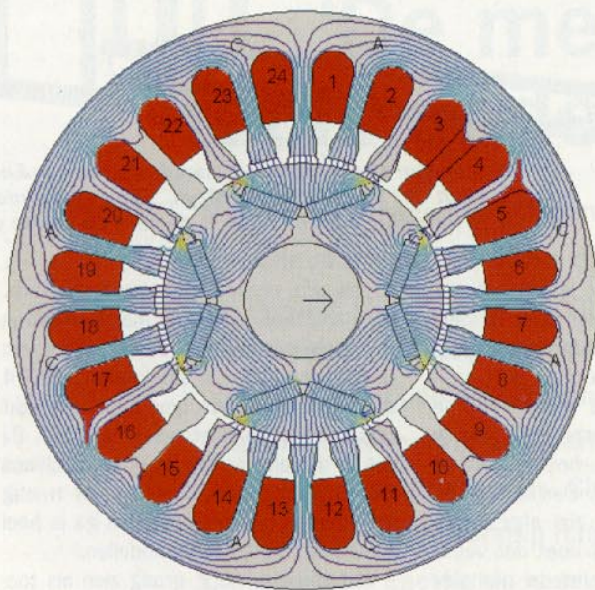


Simulatie van mechatronische aandrijvingen

Simulatie is een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerpen van machineaandrijvingen, maar het gebruikte simulatiepakket moet met veel disciplines overweg kunnen. Peter van Duijsen van Caspoc geeft inzicht in de belangrijkste overwegingen en keuzes bij systeemsimulatie.

Peter van Duijsen



Figuur 1: Met simulatiesoftware kunnen ontwerpers in kaart brengen hoe het elektromagnetische veld zich in de machine zal verdelen bij een bepaalde belasting en snelheid.

Het ontwerpen van de elektrische aandrijving in een mechatronisch systeem was vroeger vaak simpelweg een kwestie van een DC-motor aansluiten. De hedendaagse ontwerpen zijn dat niveau echter ver ontstegen. Mechatronische aandrijvingen in hybride elektrische auto's en servoaandrijvingen in robotica of industriële automatisering vereisen een goed doordacht design. Simulatie is hierbij een belangrijk hulpmiddel. Dit geeft niet alleen numerieke informatie, maar ook inzicht in de werking van het gehele systeem, of, vaak belangrijker, waarom iets nu juist niet werkt.

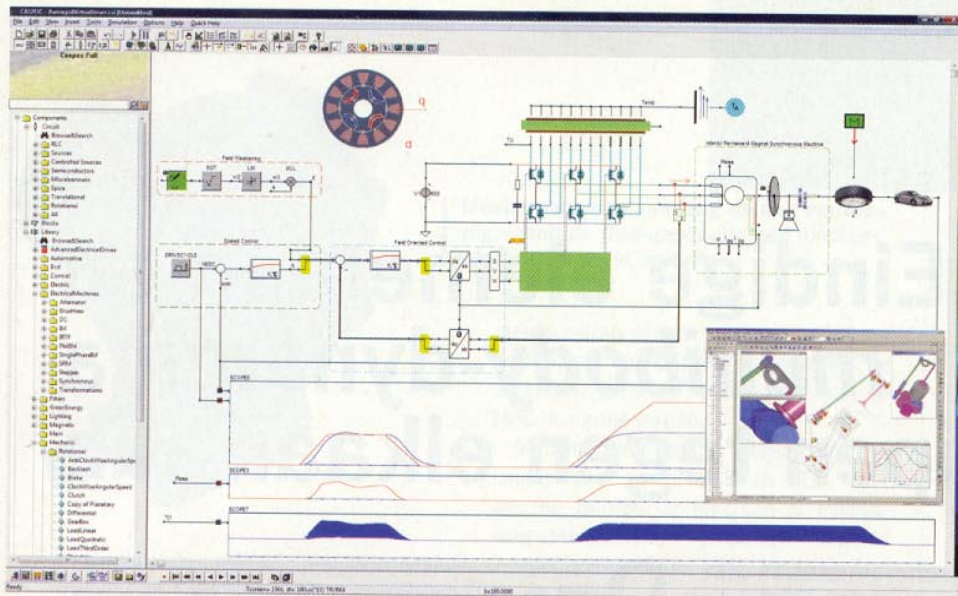
Simulatie is eigenlijk niks bijzonders. Een simulatie doet niets anders dan het bedachte ontwerp doorrekenen. Het bekende ontwerpen op de achterkant van een sigarendoosje is in feite een analyse (lees: simulatie) in het hoofd van de ontwerper, die als geheugensteuntje wat schetsjes, getallen en formules neerkrabbelt. Met een computersimulatie zijn ook bedrijfscondities in te stellen die in een gebouwd prototype moeilijk toe te passen zijn, maar voor het testen van het ontwerp cruciaal kunnen zijn. Denk bijvoorbeeld aan kortsluiting of temperatuurmeting in een halfgeleidercomponent. Ook is het mogelijk om het ontwerp meerdere malen met verschillende condities of parametervariaties door te rekenen.

Tientallen procenten

'Ontwerpen van elektrische machines is niet een ingenieursvak maar een kunst' is een vaak gehoorde opmerking. Hierin schuilt een kern van waarheid, want een elektrische machine kan op verschillende manieren ontworpen worden en de ontwerper moet hier allerlei keuzes in maken. In de mechatronica komen verschillende disciplines en technieken samen en deze dienen dan ook als één geheel te worden gesimuleerd. Zelfs bij een simpel voorbeeld met een enkele elektromagnetische actuator (motor) is er een elektrische aansluiting, een elektromagnetisch krachtenspel en uiteindelijk een mechanische as die gaat draaien. Althans, als de regeling de stroom door de motor op de juiste manier stuurt. Dus ook de implementatie van de regeling, meestal via software in een microcontroller of DSP, is belangrijk. Binnen deze gezamenlijke simulatie moet iedere component op zijn eigen optimale manier worden gemodelleerd.

Het modelleren van de aandrijfregelingen is niet eenvoudig. Belangrijk is dat de regeling is afgestemd op de elektrische machine en zijn mechanische belasting. De keuze voor servo- of tractieaandrijving is bepalend voor de aanpak. Een servoaandrijving heeft baat bij een snelle positieregeling en moet tevens snel het koppel van de machine kunnen sturen. Voor een tractieapplicatie is veldverzwakking noodzakelijk om ook hoge toerentalen te halen. Tevens is bij tractieapplicaties het rendement van belang. Met name een regeling die het optimale koppel bij een gegeven maximale stroom kan maken, is belangrijk.

Om servoregelingen optimaal in te stellen, is kennis van het gehele aandrijftraject noodzakelijk. Voor sommige componenten kan worden volstaan met eenvoudige modellen en een minimaal aantal parameters. Een IGBT of Mosfet hoeft bijvoorbeeld alleen aan en uit te schakelen, het liefst ideaal. Of dat in tien of twintig nanoseconden gebeurt, is vaak niet zo van belang. Belangrijker zijn de harmonischen die ontstaan ten gevolge van dit modulatieproces. Aan de andere kant zijn verzadiging en temperatuur in de machine cruciale ontwerpparameters die een verschil in koppel van enkele tientallen procenten tot gevolg kunnen hebben.



Figuur 2: Bij het simuleren van de tractieaandrijving in een elektrische auto moeten componenten van uiteenlopende disciplines samen worden doorgerekend, zoals de elektrische machine, de vermogenselektronica, de thermische koeling en het mechanische ontwerp. Door de modellen aan een 'virtuele bestuurder' te koppelen, is een realistisch inzicht te verkrijgen in het gedrag van het ontwerp.

Omdat de regeling de elektrische machine tot in het uiterste moet kunnen sturen, is het van belang om de vermogenselektronische omzetter in genoeg detail te modelleren. Met name het modulatieproces van de omzetter heeft invloed op het dynamische gedrag van de machine en op de verliezen in de omzetter en de machine.

Nadat de regeling uiteindelijk is geoptimaliseerd, moet deze nog in hardware worden overgebracht. Meestal wordt een 16 of 32 bit microcontroller gebruikt die in C kan worden geprogrammeerd. Omdat het steeds opnieuw programmeren fouten met zich mee kan brengen, bestaat de mogelijkheid om van de gesimuleerde regeling direct de C-code te exporteren. De regeling kan zo eerst in de simulatie worden getest en vervolgens via codegeneratie in de hardware worden geïmplementeerd.

Eendimensionaal

Voor het dimensioneren van servoaandrijvingen is het van belang verschillende componenten mee te nemen in de simulatie. In een top-down aanpak zal als eerste het mechanisch aan te drijven systeem moeten worden bekeken. In een 3D-multibody-simulatie kunnen de krachten worden berekend die nodig zijn voor versnellen en afremmen. Van het 3D-multibody-model kan meestal een eendimensionaal dynamisch model worden afgeleid, dat in de systeemsimulatie gekoppeld met de elektrische aandrijving kan worden gesimuleerd. Ook kan een dynamische 3D-multibody-simulatie het rijgedrag van een auto beter in kaart brengen en is het mogelijk om een equivalent dynamisch model voor de aandrijving te verkrijgen.

Ontwerpers moeten ook rekening houden met de wijze waarop het elektromagnetische veld zich in de machine zal verdelen bij een bepaalde belasting en snelheid van de machine. Dit kan in de meeste ge-

vallen met de eindige-elementenmethode (*finite elements method* of FEM). Figuur 1 laat een typisch belastingsgeval zien van een *interior permanent magnet*-synchrone machine. Dit soort machines wordt ingezet in tractieapplicaties zoals elektrische auto's omdat bij hoge toerentallen veldverzwakking kan worden toegepast.

Halfgeleidermateriaal

Simulatie van de vermogenselektronische omzetter is ook nodig voor andere zaken. Het schakeltraject is belangrijk voor het berekenen van het EMC-gedrag. Afhankelijk van het gevraagde frequentiespectrum is het dus noodzakelijk om een gedetailleerd halfgeleiderschakelaarmodel toe te passen en de simulatie met een kleine stapgrootte door te voeren. Als vuistregel kan worden gesteld dat voor een systeemsimulatie stapgroottes van één tot honderd milliseconden kunnen worden gebruikt, terwijl voor EMC-tests stapgroottes van enkele nanoseconden vereist zijn.

Ook voor het thermische gedrag is de vermogenselektronische omzetter belangrijk. Het maximale vermogen dat een omzetter kan leveren, wordt niet alleen bepaald door de maximale stroom die door een halfgeleiderschakelaar kan gaan maar ook door het daarbij behorende verliesvermogen en de warmteontwikkeling. Indien het verliesvermogen niet of onvoldoende kan worden afgevoerd, kan de halfgeleiderschakelaar door oververhitting kapot gaan, of door hoge temperatuurfluctuaties versneld verouderen. In de simulatie worden daarom de doorlaat- en schakelverliezen berekend en deze sturen het thermische model. In dit model wordt niet de temperatuur van de behuizing berekend maar met name de temperatuur in het halfgeleidermateriaal zelf. Afhankelijk van deze temperatuur veranderen namelijk de parameters van de schakelaar en daarmee weer het verliesvermogen.

64 bit

Figuur 2 laat een typische simulatie van een elektrische auto zien. Hierin is een permanente-magneetsynchrone machine gekoppeld met het model voor het rijgedrag van een middenklasse auto. De vermogenselektronische omzetter stuurt de machine op basis van een veldgeoriënteerde regeling met veldverzwakking. Deze regeling is voorzien van een virtuele bestuurder, de eigenlijke automobilist, die het koppel van de machine bepaalt. Op basis daarvan is te bepalen hoe snel de auto moet rijden in de simulatie en wordt het elektrische, mechanische en thermische gedrag van de elektrische auto bestudeerd. Met name de temperatuurwisselingen die in de vermogenselektronische omzetter optreden, bepalen de levensduur van de halfgeleiders: hoe heeter, hoe eerder het kapot gaat. Ook het gebruik van de accu is hier te simuleren. Niet alleen kan door de simulatie de afname van de lading, de *state of charge* (SOC), worden bepaald, maar ook de interne slijtage, de *state of health* (SOH), die ontstaat als gevolg van temperatuurstijgingen en hoge ontladstromen.

Eist simulatie veel van de hardware? Dat hangt geheel van de situatie af. Een dynamische driedimensionale eindige-elementensimulatie gaat het snelste op een 64-bit-machine met veel geheugen. Maar als die berekening eenmaal is gedaan, kunnen de gevonden parameters en tabellen eenvoudig worden hergebruikt in een simulatietool zoals Caspoc. De simulatie van de elektrische auto uit Figuur 2 kan gewoon op een eenvoudige netbook worden doorgerekend. En die is maar iets groter dan het ouderwetse sigarendoosje.

Peter van Duijsen is R&D-manager bij Caspoc, dat simulatiesoftware ontwikkelt voor mechatronische systemen.

Redactie Pieter Edelman