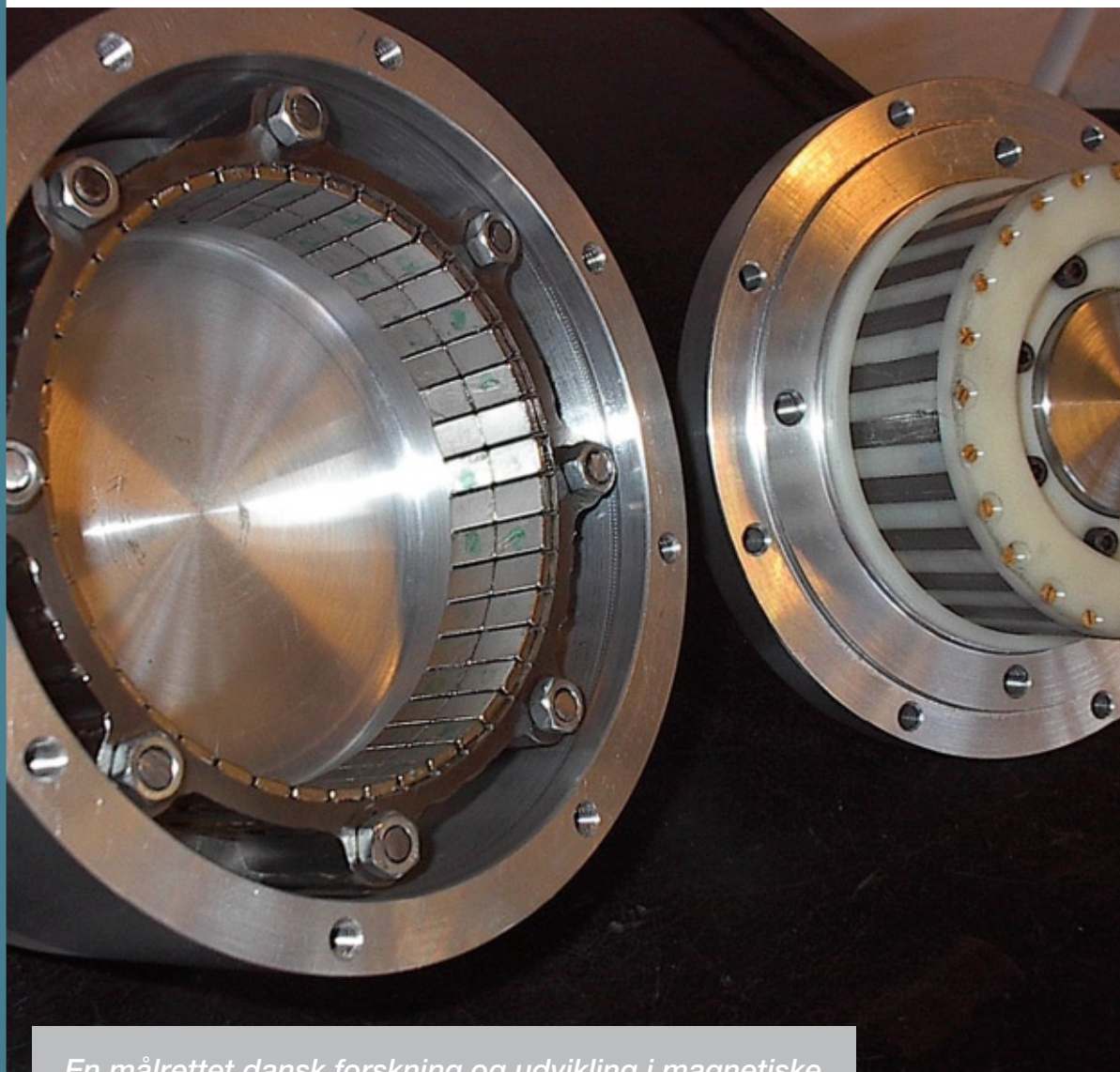


PSO 2002

Elforsk - Forskning & Udvikling i effektiv energianvendelse

Design og konstruktion af magnetiske gear



En målrettet dansk forskning og udvikling i magnetiske gear kan på længere sigt bane vej for dansk produktion af nøglekomponenter til fx vindmøller og elbiler



Resumé:

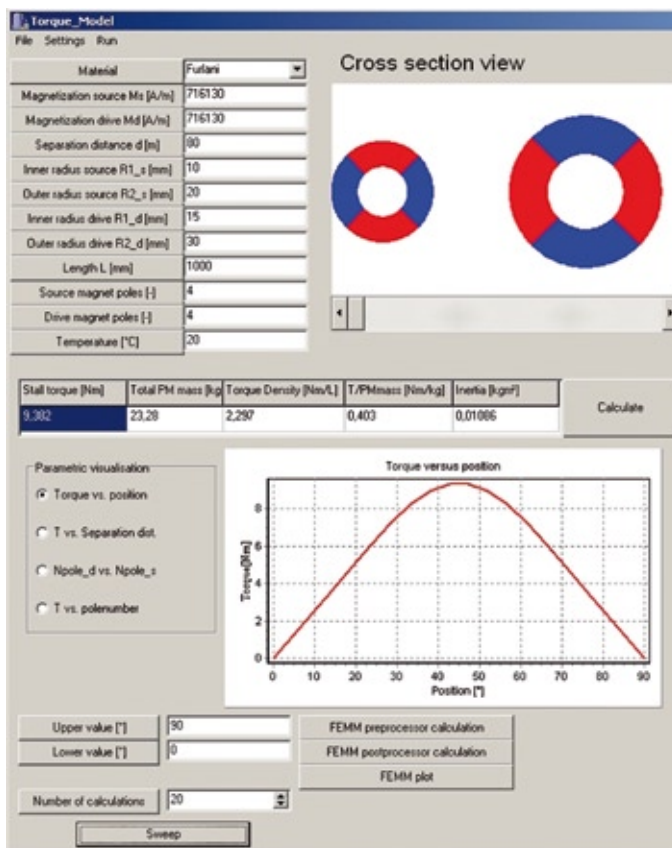
Projektet, der har omfattet et ph.d.-studium, har udviklet innovativ viden og beregningssoftware til nye magnetiske geartopologier. Der er udviklet brugervenlige designprogrammer og opbygget forsøgsmodeller af to forskellige magnetgear – et simpelt magnetgear, der er analogt til et klassisk gear med to tandhjul, og et magnetgear baseret på cycloprincippet. Desuden er der udviklet en ny analytisk beregningsmetode til parallelle magnetiserede magnetskaller samt 2D og 3D finite element modeller og analyser af forskellige magnetgear.

I kraft af projektets grundlæggende nye viden er den danske forskning inden for magnetiske gear nået meget langt internationalt, og der er skabt et fagligt grundlag for på sigt at opbygge en dansk produktion af en lovende teknologi med et stort anvendelsespotentiale.

Målsætning:

Fremkomsten af billigere og meget kraftige permanente magneter af typen NdFeB (Neodymium-jern-Bor) har inspireret Institut for Energiteknik ved Aalborg Universitet til at undersøge, om der kan udvikles et magnetisk gear med de gevinster inden for miljø, drift og vedligehold, som det kan give anledning til.

I projektet skulle der gennemføres en global state-of-the-art analyse af magnetiske gear som udgangspunkt for at identificere den nye teknologiske potentielle gevinster. Desuden skulle der udvikles beregningsværktøjer og gennemføres konstruktionsanalyser som forudsætning for at kunne konstruere og teste to forsøgsmodeller af hhv. en simpel og mere avanceret geartopologi.



Skærbillede fra projektets designprogram.

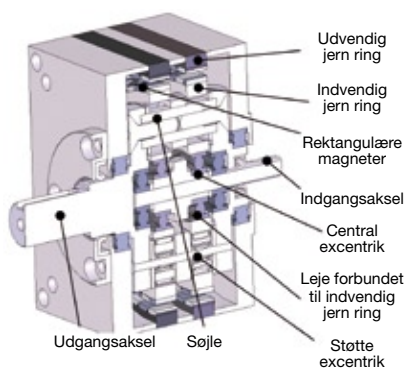
Projektet har bragt den danske forskning i højeffektive magnetiske gear i front internationalt



3D finite element beregning af et magnetisk gear.

Processen:

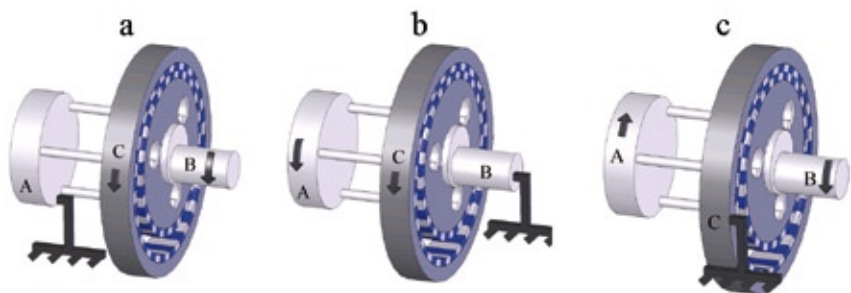
Projektet er udført på Institut for Energiteknik ved Aalborg Universitet som et ph.d.-studium, hvis afsluttende afhandling ventes forsvaret inden udgangen af 2008. Flere virksomheder har deltaget i projektet med materialer, systemer og erfaringer, og der er udarbejdet en state-of-the-art analyse af både magnetiske og mekaniske gear.



Konstruktionstegning af cyclogear forsøgsmodellen.

Under arbejdet med beregningsværktøjet viste det sig i samarbejde med University of Virginia, at reluktans-netværksmetoden var for simpel til det komplekse magnetiske gear. I stedet har Institutet videreudviklet E.P. Furlanis analytiske beregningsmetode til at omfatte parallelt magnetiserede magneter og udbygget værktøjet med 2D og 3D finite element modeller, der er hensigtsmæssige til at bestemme kapaciteten for momentoverføring.

I samarbejde med de involverede virksomheder blev der udført konstruktionsanalyser som forberedelse til opbygning af to forsøgsmodeller. Ved den første model af et simpelt gear med to magnetiske cylindre har Grundfos bidraget med komponenter og værkstedserfaringer inden for permanentmagnet motorer, mens Danfoss Drives og Sauer-Danfoss medvirkede aktivt ved den anden forsøgsmodel af et avanceret magnetisk cyclogear. Ved test af forsøgsmodellerne er der brugt systemer, som er udviklet af Sauer-Danfoss.



Udvekslingsforhold:

$$R_{g(a)} = \frac{P_c}{P_c - P_a} = \frac{44}{44 - 42} = \frac{22}{1}$$

Udvekslingsforhold:

$$R_{g(b)} = \frac{P_c}{P_a} = \frac{44}{42} = \frac{22}{21}$$

Udvekslingsforhold:

$$R_{g(c)} = \frac{P_a}{P_a - P_c} = \frac{42}{42 - 44} = \frac{-21}{1}$$

Resultater:

Den gennemførte litteratursøgning viste, at der internationalt er udviklet analytiske beregningsmetoder til simple magnetiske gear. På det grundlag blev der udviklet et brugervenligt beregningsprogram, som dog havde visse begrænsninger. Derfor blev metoderne videreudviklet til også at inkludere parallelt magnetiserede magneter, fx standard magnetskaller, der er velegnede til gearproduktion, og som medfører en ca. 10 % større momentoverføringskapacitet end radielt magnetiserede magneter.

Under det fortsatte arbejde med beregningsmodeller udskilte cyclo-princippet sig som særligt interessant. Designprogrammet har dokumenteret, at det kan anvendes til forskellige magnetiske cyclogear med varierende fordele afhængig af anvendelsen.

Designprogrammet blev brugt i de konstruktionsanalyser, der forberedte dimensionering og opbygning af de to planlagte forsøgsmodeller: et simpelt magnetgear og et magnetisk cyclogear. Begge prototyper blev dimensioneret efter den bedst mulige funktionalitet frem for detaljeret design og optimering.

Det simple magnetgear med to magnetiske cylindre med hhv. 10 og 40 poler gav et omsætningsforhold på fire, og en justerbar luftspalte mellem de to magnetiske skiver der kunne bruges til at verificere designværktøjet. Den anden model blev verdens første forsøgsmodel af et magnetisk cyclogear med et omsætningsforhold på 20. Cyclogearets virkningsgrad blev målt i forskellige arbejds punkter og viste sig at være tilfredsstillende sammenlignet med mekaniske gear.

Målinger af de to forsøgsmodellers statiske momentoverføringskarakteristikker viste god overensstemmelse med den hurtige analytiske og den mere komplicerede finite element metode.

Efterfølgende har Institutet deltaget i et teoretisk studie i USA af integration mellem magnetgear og motor/generator. Studiet er resulteret i et initialdesign beregnet til hybridbiler, hvor magnetgearet kan bane vej for et meget kompakt design.

Konklusion:

Projektets resultater har vist, at den grundlæggende danske forskning inden for magnetgear ligger på et meget højt internationalt niveau. Faktisk er to af verdens fem første forsøgsmodeller bygget i Danmark.

Den fortsatte forskningsindsats bør ikke mindst sigte efter at øge momenttæthed og virkningsgrader, bl.a. ved at forbedre gearets grundlæggende mekaniske konstruktion. Desuden bør der arbejdes med integration af magnetgear og elektriske maskiner, der kan bane vej for et mere kompakt design, og som derigennem kan kompensere for, at magnetgear overordnet set har et større volumen end tilsvarende mekaniske gear.



Dansk Energi
Rosenørns Allé 9
1970 Frb. C
Tlf: 35 300 400

Anbefalinger for videre anvendelse af forskningsresultaterne

Hvad kan projektet bruges til?

I modsætning til de øvrige Elforsk-projekter, der er meget anvendelsesorienterede, har dette projekt en mere grundlagsskabende karakter. Det er lykkedes at realisere projektets målsætning om at skabe afgørende ny viden, og det vellykkede samarbejde mellem Institut for Energiteknik og de involverede Danfoss-virksomheder er resulteret i en forsøgsmodel for det magnetiske cyclogear med en helt ny topologi. Dette gears momenttæthed har gennem målinger vist sig at være mere end det dobbelte af, hvad en gruppe engelske forskere for nogle år siden regnede sig frem til på basis af egenskaberne ved de nyudviklede NdFeB-magneter.

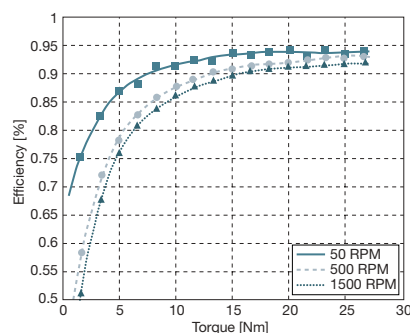
Sådan resultater kan danne basis for at opbygge en stærk teknologisk kompetence i Danmark inden for

magnetgear gennem et samarbejde mellem Institut for Energiteknik og danske virksomheder med innovationsevne, produktionskompetence og finansiell styrke til at omsætte konkrete forskningsresultater til højteknologiske produkter med et stort globalt markedspotentiale.

Men det forudsætter en langsigtet og målrettet forskning, der bør tilrettelægges i et strategisk samarbejde mellem de relevante forskningsinstitutioner, potentielle magnetgearproducenter og slutbrugere. Udvikling af nicheprodukter, hvor magnetgearets specielle egenskaber har afgørende betydning, kan være med til at kommercialisere magnetgear. Det kan fx være inden for fødevarerindustrien, vandhydraulik og havvindmøller.



Den ene af de to opbyggede forsøgsmodeller på Institut for Energiteknik er et simpelt magnetgear.



Virkningsgraden for cyclogearet i forskellige arbejds punkter.

Effekt:

Da magnetgear-forskningen trods de vellykkede resultater endnu befinder sig i en indledende fase, kan der på kort sigt ikke forventes nogle målbare effekter på det danske elforbrug. Men under forudsætning af, at der med den rette timing sættes målet på at nyttiggøre den opnåede danske styrkeposition, kan projektet få en mærkbar effekt på længere sigt.

Magnetgear har nogle egenskaber, der vil være værdifulde i mange forskellige anvendelser. Gearet udsættes ikke for mekanisk udmattelse, der skal ikke bruges smørelolie, det er de-

signmæssigt beskyttet mod overbelastning, er uden mekaniske kontaktab, har et højt moment-volumen forhold og kan fysisk separere ind- og udgangsaksel.

Magnetgear kan derfor få stor betydning fx for en langsigtet optimering af komponenter beregnet til havvindmølleparker. Et effektivt og vedligeholdelsesfrit alternativ til mekaniske gear kan bidrage til at nedbringe driftsudgifterne. Magnetgear har også store perspektiver i el- og hybridbiler.

Prisen på de højtstående NdFeB-magneter er stadig en kommerciel barriere. Men prisen er faldet med en faktor fire inden for de seneste ti år, og magneterne har mindre krav til produktionstolerance end tænder til et mekanisk gear, og det kan delvis kompensere den højere pris.



Kontaktperson:

Peter Omand Rasmussen
Institut for Energiteknik v/Aalborg
Universitet
Pontoppidanstræde 101
9220 Aalborg Ø

E-mail: por@iet.aau.dk
Telefon: 99 40 92 44
Web: www.iet.aau.dk

Projekt:

Titel: Design og konstruktion af
magnetiske gear
Nr.: 334-031
PSO Program 2002
Budget: 1.804.000 kr., hvoraf
1.484.000 kr. i tilskud fra Dansk
Energi
Tidsplan: 01.01.2003 – 15.07.2008

Programkoordinator:

Forskningskoordinator Jørn Borup
Jensen
Dansk Energi
Rosenørns Allé 9
1970 Frederiksberg C.

E-mail: jbj@danskenergi.dk
Telefon: 35 300 934
Web: www.elforsk.net