

Elektromechanische Antriebe, simuliert mit ANSYS

Im Rahmen der Entwicklung neuartiger elektrische Antriebe ist der Einsatz von FE-Simulationswerkzeugen ein wesentlicher Bestandteil des Designprozesses. Ihr richtiger Einsatz bestimmt den Entwicklungszeitraum, wesentliche Produkteigenschaften sowie Fertigungs- und Betriebskosten.

Wurden bisher im Wesentlichen statische Analysen von 2D Berechnungsmodellen durchgeführt, so sind zum Design neuer und effektiver Antriebskonzepte auch dynamische Analysen der 3D Geometrie erforderlich. Die Auswahl des Berechnungsverfahrens hängt jedoch nicht nur von der Bewegungsgeschwindigkeit ab, sondern auch von der Art des Antriebes.

Magnetostatische Simulation

Die magnetostatische Simulation gestattet die Berechnung statischer Größen, wie Magnetkraft, verketteter magnetischer Fluss oder magnetische Co-Energie für ein magnetisches System bei statischer Anregung durch einen Strom oder durch Permanentmagneten. Diese statischen Kenngrößen können auch in Abhängigkeit von der Erregung oder der Position des Antriebes schnell und effizient berechnet werden. Für die notwendige Vernetzung des Antriebes bei unterschiedlichen Positionen gibt es drei Möglichkeiten:

- Neuvernetzung der Geometrie (entsprechend der veränderten Position)
- Adaption des Netzes (Netzdeformation)
- Interface Anbindung der separaten Vernetzung nicht verbundener Modellteile (analog zum mechanischen Kontakt)

Die Ergebnisse der statischen Berechnung dienen allgemein zur Aufnahme der stationären Kraft-Weg-Kennlinie des Antriebes. Für den häufigen Fall, dass im Antrieb keine Wirbelströme auftreten (geblechtes Eisen), oder die Wirbelströme nur einen kleinen Einfluss auf das magnetische Feld

haben, kann aus der statischen Rechnung noch mehr Information gewonnen werden: Die Co-Energie enthält auch die Information über die magnetische Kraft und den verketteten Fluss der Erregerspule:

$$F_{\text{max}} = \frac{\partial W_c(u, \Theta)}{\partial u}$$

$$\Phi = \frac{\partial W_c(u, \Theta)}{\partial \Theta}$$

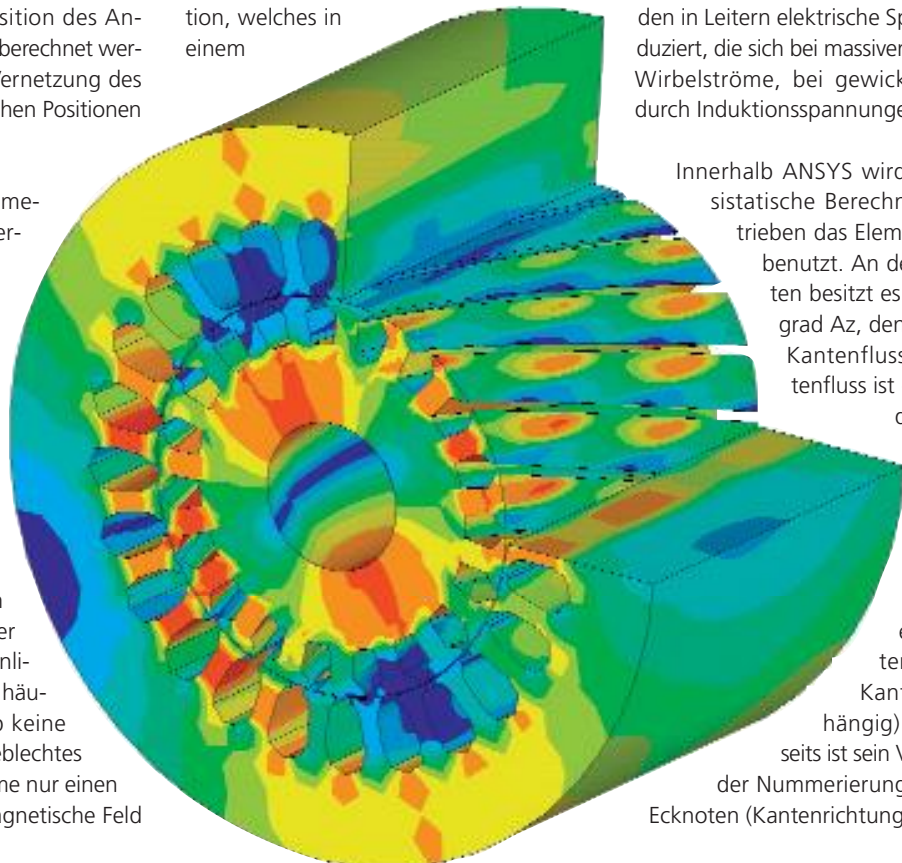
Anhand dieser Zusammenhänge kann die mechanische und die elektrische Bewegungsgleichung des Systems aufgestellt werden. Die wesentliche Kenngröße der Co-Energie dient hier als Instrument zur Extraktion eines Reduced-Order-Modells aus der FEM-Simulation, welches in einem

Systemsimulator wie Simplerer verwendet werden kann.

Quasistatische Simulation

Als quasistatisch bezeichnet man diejenigen Berechnungen, bei denen zwar aufgrund der Feldänderung die Induktion eine Rolle spielt, die Abstrahlung elektromagnetischer Wellen jedoch vernachlässigt werden kann. Wegen der häufigen Materialnichtlinearität werden wir uns hier auf transiente Vorgänge beschränken (harmonische Analysen schließen die Beschreibung nichtlinearer Systeme allg. aus).

Transiente Vorgänge in Antrieben werden durch die Änderung der Erregung oder durch die Bewegung innerhalb des Antriebes hervorgerufen. In beiden Fällen werden in Leitern elektrische Spannungen induziert, die sich bei massiven Leitern durch Wirbelströme, bei gewickelten Spulen durch Induktionsspannungen äußern.



Innerhalb ANSYS wird für die quasistatische Berechnung von Antrieben das Element SOLID117 benutzt. An den Kantenmitten besitzt es den Freiheitsgrad Az, den sogenannten Kantenfluss. Dieser Kantenfluss ist das Skalarprodukt aus dem Vektorpotential und dem Kantenvektor. Damit ist dieser Fluss einerseits extensiv (von der Kantenlänge abhängig) und andererseits ist sein Vorzeichen von der Nummerierungsrichtung der Ecknoten (Kantenrichtung) abhängig.

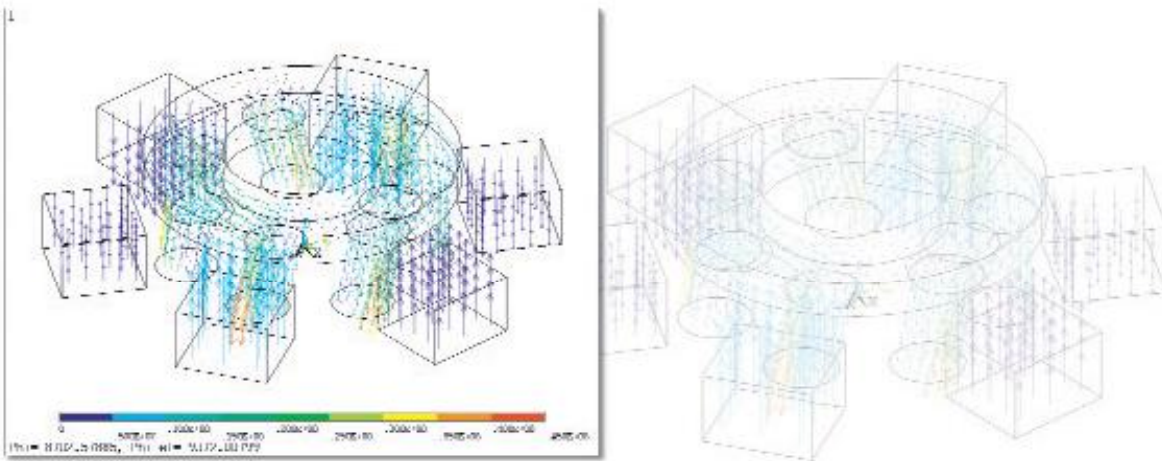


Bild 2: Stromdichteverteilung in einer Asynchronmaschine: Primärwicklung und Läuferkäfig mit Kurzschlussring

Optional hat das SOLID117-Element den Freiheitsgrad Volt an den Eckknoten. Im Fall der Formulierung für Wirbelströme (keyopt(1)=1) ist dieser Freiheitsgrad das zeitintegrierte elektrische Potenzial:

$$V_{\text{eff}}(t) = \int_{\Omega} \mathbf{f}^T(\mathbf{r}^T) d\Omega$$

Er hat damit dieselbe Dimension ($V_s=Wb$) wie der Kantenfluss Az . In ANSYS v12 wird die Funktionalität vom neuen Element SOLID236 übernommen. Dieses bietet neben der höheren Genauigkeit insbesondere für Pyramiden und Tetraedernetze eine bessere Lösungsgeschwindigkeit und die Möglichkeit der Parallelisierung.

Modellbildung

Häufig sind die Geometrien für die Antriebe periodisch; bei elektrischen Maschinen ist dies der Standardfall. Für die Modellbildung

ist es dann sehr effizient, einen entsprechenden Sektor zu modellieren. Dies wird in den meisten Fällen ein halbes Polpaar sein. Für Klauenpolmaschinen oder Transversalfeldmaschinen enthält der Sektor ein ganzes Polpaar. Periodische bzw. Anti-periodische Randbedingungen (realisiert über Constraint Equations) dafür sind in ANSYS Workbench direkt verfügbar. Ein somit das Gesamtsystem exakt beschreibender Sektor besteht jetzt aus den Festkörpern (Läuferblechpaket, Ständerblechpaket, Wicklungen, Magnete) sowie einem oder mehreren (im Fall eines Interface zwischen Läufer und Ständer) Hüllkörpern, die die Umgebungsluft beinhalten. Es ist günstig, den eigentlichen Luftspalt durch einen Körper aus Luft abzubilden, dies ermöglicht eine gezielte Vernetzungssteuerung im Luftspaltbereich.

Lasten und Randbedingungen

Jede magnetische Simulation erhält mindestens eine Fluss-parallele Randbedingung. Daneben kann man direkt in Workbench Ströme und Spannungen auf die äußeren Flächen massiver Leiter einprägen. Die Lastdefinition von gewickelten Spulen wird durch Vorgabe von Stromdichten realisiert. Andere Randbedingungen, wie Reihenschaltungen von Wicklungen, die Einprägung einer externen Flussdichte oder das Hinzufügen von Schaltungselementen können mittels Kommandoobjekten ebenfalls in Workbench realisiert werden.

Morphing und Interface

Die Verzerrung von Netzen zur transienten Analyse von Antrieben mit schließendem Luftspalt (z.B. Klappanker) erfolgt schnell und übersichtlich durch Interpolation aus einer thermischen Nebenrechnung.

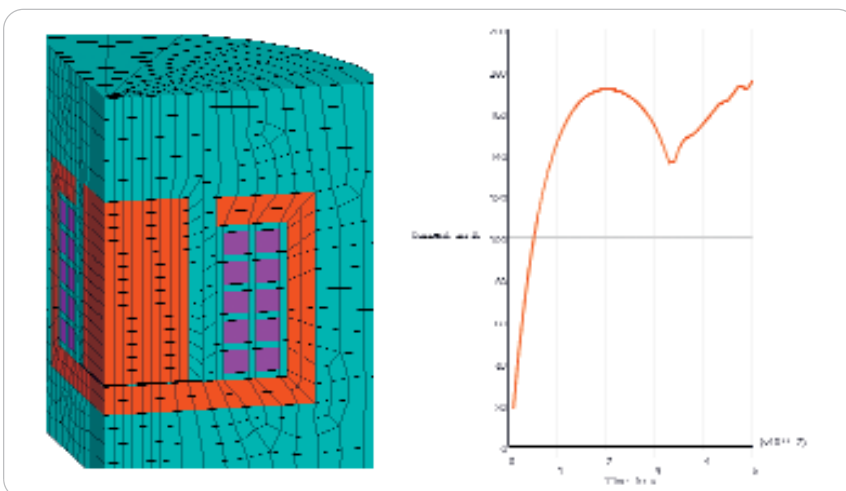


Bild 1: Netz eines Hubankersystems mit Morphing unter dem Anker und seitlichem Sliding, Stromverlauf bei Speisung mit Gleichspannung

Für die Beschreibung des Interfaces zwischen Rotor und Stator wird ein Kommandoobjekt herangezogen, welches beide getrennten Netzbereiche während der Bewegung verbindet. Liegt eine äquidistante Vernetzung der Knoten am Interface vor, so können die jeweils aufeinander fallenden Knoten richtungsabhängig verbunden werden (clicking mesh).

Alternativ dazu werden bei nichtäquidistanten Netzen bzw. variabler Winkelschrittweite die Kantenflüsse auf der Seite mit dem feineren Netz interpoliert und aus den Flüssen auf der Seite mit dem größeren Netz interpoliert (sliding interface). Für beide Anwendungsfälle muss das Interface ein strukturiertes Oberflächennetz aufweisen.

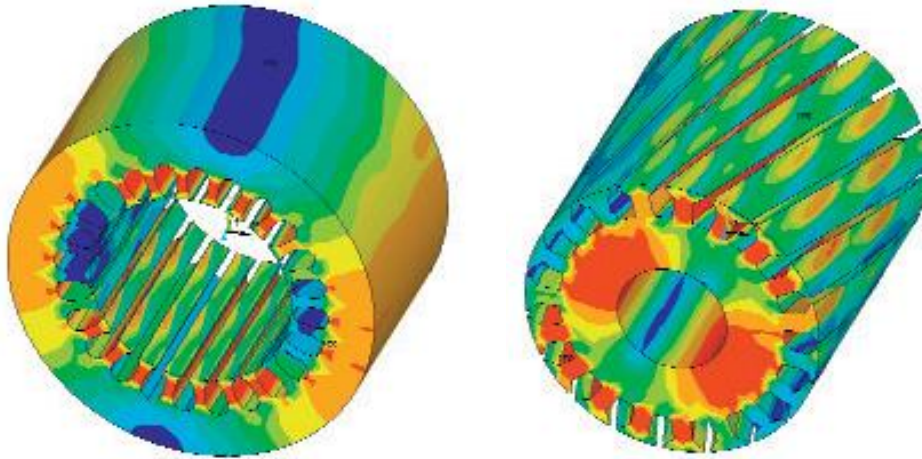


Bild 3: Flussdichteverlauf in Läufer und Ständer einer Asynchronmaschine bei transienter Drehung, mit freundlicher Genehmigung der Elektromotorenwerk Grünhain GmbH & Co.KG

Die Kombination beider Verfahren (Morphing und Interface) innerhalb von ANSYS, ermöglicht die Beschreibung von Exzentrizitäten und elastischen Deformationen (akustische Anregung).

Transiente Bewegung

Die Beschreibung der transienten Bewegung wird dadurch abgebildet, dass bei jedem Lastschritt das Modell entsprechend der Bewegung aktualisiert wird. Dies passiert innerhalb des Lösungsmoduls. Im Fall der Netzverzerrung ist dazu die Funktion *vput,,node,,loc zum Update der Knotenkoordinaten zu verwenden. Auch die Neuerstellung der constraint equations für clicking mesh oder sliding interface wird innerhalb des Lösungsmoduls durchgeführt. Dies vermeidet den sonst notwendigen und zeitaufwendigeren Restart. Die jeweils neue Position ist entweder bekannt vorgegeben (z.B. drehender Asynchronmotor) oder aber

kann anhand der Bewegungsgleichung neu berechnet werden (Hochlauf einer Maschine, Schließen eines Hubankers).

Für die Neuberechnung der Position kommt die Lösung der mechanischen Bewegungsgleichung des als starr betrachteten beweglichen Teils des Antriebes in Frage. Hierzu muss die aktuelle Kraft berechnet werden. Auch das geschieht innerhalb des Lösungsmoduls, weil die Elementdaten, wie z.B. die magnetische Flussdichte mittels *vget verfügbar sind und somit benutzt werden können, um das Flächenintegral über den Maxwell'schen Spannungstensor zu berechnen. Mit der Einführung von ANSYS 12 gibt uns Workbench die Möglichkeit, auch transiente magnetische Rechnungen auszuwerten.

Mit der Berechnung von Kräften und Wärmegenerationsraten innerhalb des Lö-

sungsmoduls wird auch die Kopplung an andere physikalische Domänen, wie thermische und mechanische Simulationen innerhalb von ANSYS möglich. Akustische Analysen oder die Analyse der Wechselwirkung zwischen Mechanik und Magnetik durch Luftspaltreduktion kommen so in Reichweite. <<

Autoren

Dr. Martin Hanke, Jens Otto, CADFEM GmbH

Information

Ansprechpartner ANSYS & elektrische Antriebe bei CADFEM

Udo Killat, CADFEM GmbH
Tel.: +49 (0) 80 92-70 05-23
E-Mail ukillat@cadfem.de

Der Ideale Rahmen für ihr Veranstaltung.



CONGRESS CENTER LEIPZIG
Just a good feeling!



Leipziger Messe GmbH
PF 10 07 20, 04007 Leipzig / Messe-Allee 1, 04356 Leipzig, Germany
Tel.: +49 341 678-8440, Fax: +49 341 678-8442, info@ccl-leipzig.de