

Simulation sorgt für effiziente Auslegung von Antrieben

Für eine leistungsfähige Antriebslösung müssen alle Komponenten wie elektrische Maschine, Leistungselektronik, Steuerungs- bzw. Regelalgorithmus und mechanischer Übertragungsstrang aufeinander abgestimmt sein. Dafür sind virtuelle Prototypen notwendig, mit denen das Verhalten des Gesamtsystems simuliert werden kann.

Daniel Bachinski Pinhal*

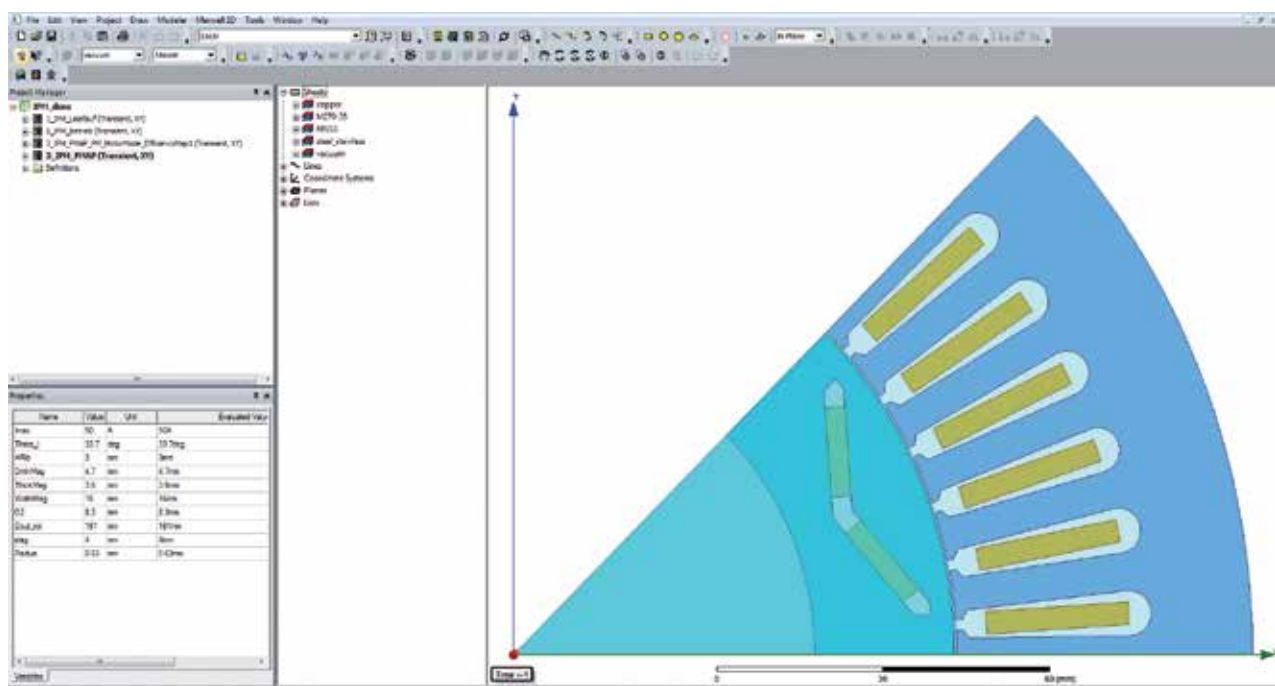


Bild 1: Mit virtuellen Prototypen, hier ein Ausschnitt der elektrischen Maschine, wird das Verhalten eines Gesamtsystems simuliert.

Heute sind Elektromotoren als elektro-mechanische Energiewandler in den verschiedensten Anwendungsbereichen weit verbreitet. Durch eine Art „natürliche Selektion“ haben sich für die verschiedenen Anforderungsprofile unterschiedliche Maschinentypen, Steuerungs- bzw. Regelungskonzepte und Designrichtlinien herauskristallisiert. Trotzdem müssen die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt werden.

Dies wird jedoch dadurch erschwert, dass die Auslegung und Optimierung der einzelnen Komponenten wie elektrische Maschine, Leistungselektronik, Steuerungs- beziehungsweise Regelalgorithmus und mechanischer Übertragungsstrang getrennt durchgeführt wird. In der Regel werden diese Auslegungen von verschiedenen Abteilungen durchgeführt, da ein anderes technisches Basiswissen und praktisches Know-how notwendig ist. Sinnvoller wäre es jedoch, wenn die Experten aus den verschiedenen Abteilungen möglichst früh in der Produktentwicklungsphase eine gemeinsame Plattform zur Verfügung hätten, um von Anfang an die Funktionen der Baugruppen und

das Zusammenspiel der Komponenten zu überprüfen und über erforderliche Änderungen gemeinsam zu diskutieren und entscheiden.

Berechnung der magnetischen Felder

Die gemeinsame Grundlage aller Elektromotortypen besteht in der magnetischen Wechselwirkung einer festen und einer beweglichen, meist drehbar gelagerten, Komponente. Üblicherweise spricht man dabei von Stator und Rotor eines Elektromotors. Die Kraftwirkung, die den Rotor zum Drehen bringt, lässt sich aus den magnetischen Feldern ableiten, die ihn umgeben. Somit erlaubt eine Berechnung der magnetischen Felder, die im Elektromotor auftreten, eine Analyse der angreifenden Kräfte und Drehmomente. Die unterschiedlichen Motortypen unterscheiden sich dadurch, wie Spulenanordnungen und deren Bestromung, massive oder kurzgeschlossene Leiter, Permanentmagnete und das Design des Eisenkreises zur Führung magnetischer Felder kombiniert werden, um ein bestimmtes Magnetfeldmuster zu erhalten.

Neben der gewünschten, kraftbildenden Wirkung, haben die magnetischen Felder auch Nebenwirkungen, zum Beispiel ohmsche Verlustleistung an den Spulen, die zu Erwärmungen führen, oder die Ausbildung von Streufeldern, die andere Geräte negativ beeinflussen können. Sowohl erwünschte als auch unerwünschte Effekte des Magnetfeldes können mit ausreichender Genauigkeit durch bekannte Gesetzmäßigkeiten (Maxwell Gleichungen) beschrieben werden. Da deren analytische Lösung für die meisten realen Anordnungen nicht möglich ist oder sich als sehr aufwendig erweist, wird üblicherweise auf numerische Lösungsverfahren zurückgegriffen.

Stetig wachsende Anforderungen an elektrische Antriebe erfordern eine immer genauere Prognose der magnetischen Felder und deren Wirkungen. Dazu ist eine möglichst detaillierte Beschreibung der Anordnung unabdingbar. Dies beinhaltet beispielsweise das Verhalten ferromagnetischer Stoffe und die korrekte Charakteristik der injizierten Ströme beziehungsweise die Beschreibung der Steuerung, mit der die Stromzuführung erfolgt. Demgegenüber steht der Wunsch, die Entwicklungszyklen für Antriebslösungen zu reduzieren und ein kostenoptimiertes Endprodukt auf dem Markt zu bringen.

Weniger physikalische Prototypen notwendig

Kommerzielle Softwareprodukte zur Simulation von Schaltungen und Feldern bieten dem Entwickler die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit der einzelnen Lösungsvarianten sehr früh im Entwicklungsprozess zu prognostizieren. Dabei kann die Anzahl der physikalischen Prototypen, die zur Überprüfung des Konzeptes notwendig sind, extrem reduziert werden oder es kann sogar ganz auf sie verzichtet werden.

Die Simulationssoftware Ansys zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass sie Lösungen zur Untersuchung von Fragestellungen aus den verschiedensten Bereichen wie Elektromagnetik, Strukturmechanik, Thermik und elektronische Schaltungen bietet. Bei der Entwicklung elektrischer Maschinen kommen der Simulation elektromagnetischer Felder und der Schaltungssimulation eine besondere Bedeutung zu. Das Softwarepaket Ansys Maxwell erlaubt es dem Motorentwickler, den Einfluss von Material, Blechschnitt und Wickelschema unter anderem auf die Leistung des Motors bei verschiedenen Arbeitspunkten systematisch zu untersuchen. Dabei sind die wichtigsten Leistungsparameter konkurrierend. Das bedeutet, dass die Verbesserung einer Eigenschaft oft zur Verschlechterung einer anderen führt. Folglich gilt es einen Kompromiss zu finden, beispielsweise bei den konkurrierenden Zielen der volumenbezogenen Leistung und der Drehmomentwelligkeit.

Untersuchung des Designraumes

Bild 1 zeigt die typische grafische Oberfläche zur Definition des virtuellen Prototyps und zur Auswertung der Ergebnisse. Darin wird ein repräsentativer Ausschnitt der elektrischen Maschine grafisch dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen magnetischen Pol einer permanent erregten Synchronmaschine mit eingegrabenen Magneten. Dieser Maschinentyp, zusammen mit einem geeigneten Wechselrichter, hat sich in vielen Fällen bei drehzahlvariablen Antrieben etabliert. Hier wird das geometrische Design festgelegt und gegebenenfalls mit Parameter versehen, um den zur Verfügung stehenden Designraum zu untersuchen. Anschließend werden die einzelnen geometrischen Bereiche mit den entsprechenden Materialeigenschaften verknüpft, zum Beispiel mit der Demagnetisierungskennlinie der Permanentmagnete.

Nach der Definition des Wickelschemas, der Art der Bestromung und der Drehzahl können die zu untersuchenden Eigenschaften bei verschiedenen Arbeitspunkten simuliert werden: Mögliche Simulationen sind etwa das mittlere Drehmoment bei verschiedenen Stromamplituden inklusive variierendem Stromanfangswinkel γ ; eine Simulation des Drehmomentverlaufs im Zeitbereich informiert zusätzlich über die Welligkeit.

Innovative
ENTWICKLUNGEN
auch unter hohem
Kostendruck
verwirklichen.

WISSEN

Open House bei Cadfem: Simulationsworkshops mit Manndeckung

Unter dem Motto „Wir rechnen mit Ihnen“ bietet der FEM-Spezialist Cadfem mit seinem Open House seit Mai 2015 Simulationsworkshops mit persönlichem Tutor - in Kürze startet bereits die zweite Runde.

Mit der kostenfreien Veranstaltungsreihe richtet sich der Simulationsspezialist Cadfem sowohl an Einsteiger als auch an Anwender, die ihr Wissen zum Beispiel um eine weitere physikalische Disziplin erweitern möchten. Teilnehmer wählen aus insgesamt 12 Beispielen und rechnen im kleinen Kreis an einem halben Tag gemeinsam mit einem Tutor eine vorbereitete Anwendung Schritt für Schritt mit der Simulations-Software Ansys durch.

Eines dieser Beispiele befasst sich mit dem Thema „Energieeffizienz, Festigkeit und Materialkosten von Elektromotoren verbessern beim Design einer permanent erregten Synchronmaschine“. Ein weiteres Beispiel lautet „Komfort steigern: Lärmemission eines Elektromotors prognostizieren und reduzieren“.

Weitere Informationen zu den Terminen und zur Anmeldung finden Sie unter: www.cadfem.de/openhouse.html

*Daniel Bachinski Pinhal, Cadfem GmbH, Grafing bei München.

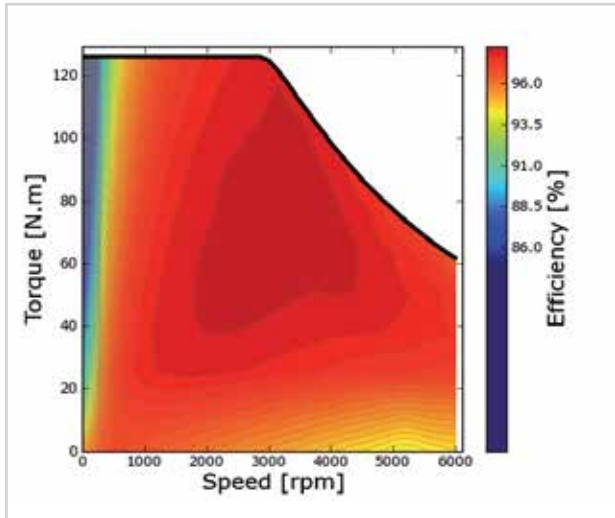


Bild 2: Das Bild zeigt das abgeleitete Kennfeld für den Wirkungsgrad.

Da sich Ansys Maxwell auch durch ein Python-Skript ansteuern lässt, können Arbeitspunkte wie Drehzahl, Stromanfangswinkel und Bestromung automatisiert definiert werden, um mehrere Arbeitspunkte in einem Berechnungslauf zu untersuchen.

Erzeugung von kompletten Kennfeldern

Ansys stellt mit dem Electric Machine Design Toolkit exemplarische Skripte für die automatisierte Einstellung der Arbeitspunkte zur Verfügung. Somit können, unter Annahme von maximalen Spannungsbeziehungsweise Stromwerten der Versorgung, die Kennlinien oder Kennfelder abgeleitet werden.

Bild 2 zeigt das abgeleitete Kennfeld für den Wirkungsgrad bei einer MTPA-Strategie (Maximum Torque per Ampere). Natürlich lässt sich auch das Kennfeld des Stromanfangswinkels berechnen, das beispielsweise dazu genutzt werden kann, einen Look-up-Table für einen Mikrocontroller zu erstellen, damit der Motor arbeitspunktgerecht bestromt wird. Soll das genaue dynamische Verhalten eines Antriebs

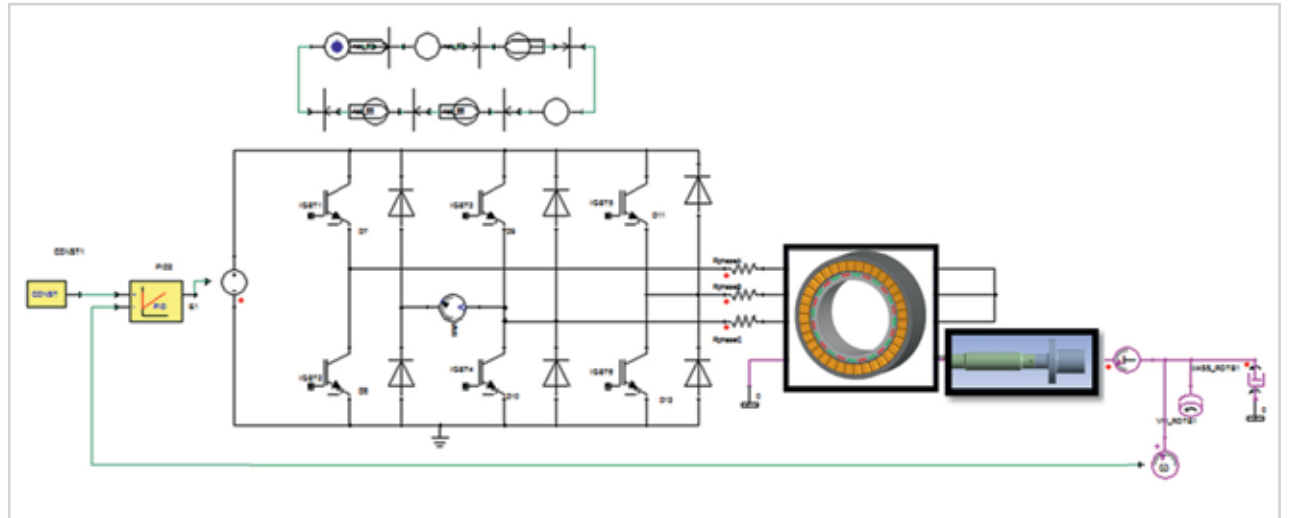


Bild 3: Systemsimulationsmodell bestehend aus unterschiedlichen Beschreibungsformen.

prognostiziert werden, sind Signale, Schaltungen und die anliegende Last möglichst realitätsgetreu zu beschreiben. Hierfür kann der Entwickler den System- und Schaltungssimulator Ansys Simplorer verwenden. Damit lässt sich ein Motormodell wahlweise mit einem Look-up-Table oder durch eine Co-Simulations-Schnittstelle integrieren. Dadurch kann das dynamische Verhalten des Motors mit einer realistischen Darstellung der Leistungselektronik untersucht werden. Hierfür stehen unter anderem parametrisierte leistungselektronische Bauelemente, Blockdiagramme und Zustandsautomaten zur Verfügung.

Verhaltensmodelle integrieren

Um mechanische Lasten zu beschreiben, lassen sich neben logischen Ausdrücken auch Darstellungen auf Systemebene mit Schaltungsanalogien verwenden. Darüber hinaus können mit den verschiedenen Softwarepaketen aus dem Hause Ansys geeignete Verhaltensmodelle komfortabel abgeleitet werden. Diese berücksichtigen die Steifigkeiten und Massen der mechanischen Struktur, zum Beispiel eine elasti-

sche Welle zwischen Motor und Last. Damit kann die Leistung einer Antriebslösung bestehend aus logischen Bauelementen, Leistungselektronik, elektrischer Maschine und Mechanik vollständig untersucht und bewertet werden.

Mit der vollständigen Abbildung des Antriebsstranges (Bild 3) können schon in einer sehr frühen Entwicklungsphase die Steuerungsalgorithmen für die einzelnen Komponenten optimiert werden. Ferner lässt sich die elektrische Antriebslösung an den mechanischen Überträger beziehungsweise an die mechanische Last anpassen. Bisher nicht genutzte Leistungspotentiale können auf diese Weise systematisch untersucht und erschlossen werden. Da diese Untersuchungen sehr früh im Entwicklungsprozess durchführbar sind, fallen dort entstehende Änderungskosten nicht ins Gewicht, sodass innovative Entwicklungen auch unter Kostendruck verwirklicht werden können. (mz)

SPS IPC Drives: Halle 1, Stand 424

www.cadfem.de

JEDERZEIT ZU WISSEN,
WORAUF MAN SICH
VERLASSEN KANN,
IST EIN GUTES GEFÜHL.



Sensoren. Systeme. Netzwerktechnik.

BALLUFF
sensors worldwide



www.balluff.com