

So optimieren Sie elektrische Antriebe



Nicht nur die immer schärferen gesetzlichen Vorgaben zur Energieeffizienz und die möglichen energetischen Einsparungen sprechen für ein Überarbeiten bestehender Antriebskonzepte. Eine Simulation verschiedener Varianten und Konzepte mit gezielter Optimierung auf die jeweilige Applikation ermöglicht höhere Zuverlässigkeit und Qualität bei weiteren Einsparungen.

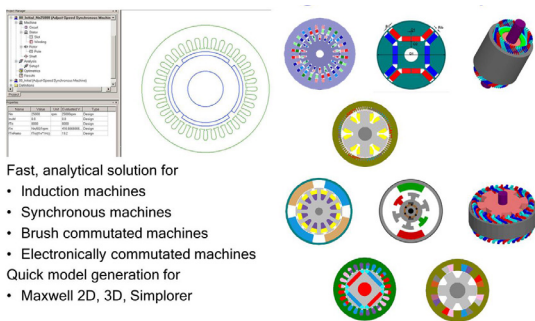
Konventionelle Motorlösungen in der elektrischen Antriebstechnik (EM= Electrical Machines) kämpfen selbst bei konstanten Lastanforderungen meist mit zwei grundlegenden Problemen: Erstens ist vielfach ihre Grundeffizienz zu gering, zweitens erreichen sie ihr Effizienzmaximum meist nur in einem relativ engen Drehzahlbereich, so dass zusätzlich Getriebe und/oder Regler erforderlich sind. Bei vielen Anwendungen liegen die größten Energiesparmöglichkeiten in einer spezifischen Anpassung des jeweiligen Arbeitspunktes an die aktuelle Lastsituation.

Warum EM-Simulation?

In vielen modernen Anwendungen wie etwa Robotik ergeben sich komplexe dynamische Anforderungen, die mit konventioneller Technik kaum mehr lösbar sind. Hier ist es geradezu unvermeidlich, alle möglichen Betriebszustände vorab simulieren zu können - auch um fundierte Aussagen über die zu erwartende Lebensdauer und Zuverlässigkeit treffen zu können. Moderne Simulationswerkzeuge ermöglichen es, auf mehreren Ebenen bzw. in unterschiedlichen Domänen („Multiphysics“: elektrisch, magnetisch, mechanisch, etc.) simulieren zu können und dabei auch mögliche Lasten einzubeziehen und Aussagen über dynamisches Verhalten zu erhalten. So können schließlich komplette Systeme im „virtuellen“ Betrieb betrachtet und in ihrem Umfeld mit seinen Wechselwirkungen optimiert werden. Diese kurze Einführung beschränkt sich auf die Optimierung der Eigenschaften des gewählten Motor-typs, hier ein DC Brushless-Motor, für bestimmte Szenarien.

Was sind die Herausforderungen?

Domänenüberschreitende Simulation mit elektrisch-magnetisch-mechanischen Parametern ist alles andere als trivial. Hier zählen langjährige Erfahrungen des Herstellers bei Entwicklung, Anwendung und sinnvoller Kombination leistungsfähiger Algorithmen und die Fähigkeit, diese auch in einer anwenderfreundlichen Benutzerschnittstelle („GUI“) abbilden zu können. Umfangreiche, praxisnahe und vor allem auch qualitativ hochwertige Bibliotheken sind notwendig um den Entwickler bei seiner konkreten Aufgabenstellung zu unterstützen und nicht jedes Mal das Rad neu erfinden zu lassen. „Nachgeschaltete“ Optimierungswerkzeuge müssen es ermöglichen, einfach und schnell unterschiedliche Lösungen nach verschiedenen Gesichtspunkten optimieren und vergleichen zu können. ANSYS als langjähriger Marktführer in der elektromechanischen Simulation bietet nicht nur eine Vielzahl an



Fast, analytical solution for

- Induction machines
- Synchronous machines
- Brush commutated machines
- Electronically commutated machines

Quick model generation for

- Maxwell 2D, 3D, Simplorer

Simulationspaketen für praktisch alle Aufgabenstellungen an, sondern auch passende Schulungen und Vor-Ort-Unterstützung. In der speziellen Anwendung im Beispiel kommt hauptsächlich das Electrical Machines Design Toolkit zum Einsatz.

Einfacheres Arbeiten mit Templates

Das Beispiel zeigt den Ersatz eines Drehstrom-Asynchronmotors durch einen Brushless DC-Motor in einer typischen Antriebstechnik-Anwendung auf. Durch optimierte Auslegung des Motors auf den vorgegebenen Drehzahlbereich kann bei der neuen Lösung auf den Einsatz eines Getriebes verzichtet werden, wodurch zusätzlich Gewicht und Kosten gespart werden. Zur schnellen und einfachen Beschreibung von elektrischen Maschinen (einfach ausgedrückt: Motoren und Generatoren) enthält der ANSYS Maxwell Simulator ein benutzerfreundliches Interface (RMxpert), mit dem zunächst der gewünschte Maschinentyp ausgewählt und parametrisiert wird. Hierzu werden zunächst die grundsätzlichen Leistungsdaten in Abhängigkeit von der Physik wie etwa Struktur (Polzahl) und Größe (Abmessungen) festgelegt. Verfügbar sind hierbei Templates für alle gängigen Synchron- und Asynchronmaschinen, egal ob ein- oder mehrphasig, ob mit Schleifkontakten oder auch in bürstenloser Ausführung.

Nach vollständiger Parametrisierung mit Material- und Geometriedaten aus den Datenblättern wird aus dem gewählten Template ein analytisches Systemmodell erstellt. Dieses verfügt über Schnittstellen zum bekannten Simplorer-Simulator sowie zu den in Maxwell enthaltenen 2D- und 3D-FEM-Simulatoren und weiteren Simulationspaketen. Mit Simplorer können auf analytischer („behavioural“) Ebene vollständige Systeme beschrieben und so Effekte wie etwa beim Aufschalten einer Last oder die Auswirkung verschiedener Ansteuerungen simuliert werden. Bereits bestehende Lösungen können schnell und einfach abgebildet und Dimensionierungs- und Typenvarianten ausprobiert werden. Ebenso können sinnvolle Einsatz- und Arbeitsbereiche der Maschine evaluiert und verifiziert werden. Bei komplexeren Aufgabenstellungen wird ein Entwickler seine Lösung optimieren wollen oder müssen. Je nach erforderlicher Detaillierung können hier die Maxwell 2D- und 3D- Algorithmen zum Einsatz kommen, wobei bei den meisten Aufgabenstellungen bereits die Genauigkeit eines 2D-Ansatzes genügt. Höchst effiziente, optimierte Algorithmen, die moderne Verfahren wie Multiprozessing unterstützen, sorgen für kürzeste Simulationszeiten.

Flexible Optimierung

Mit den für Motoranwendungen vordefinierten Erweiterungen UDO (User Defined Output) und UDD (User Defined Documents) können die Simulationsergebnisse nicht nur in vielfältiger Form dargestellt, sondern auch für weitführende Simulationsreihen zur Optimierung wieder als Input verwendet werden. Dabei sind nicht nur einfache Sensitivitätsanalysen und Parameteroptimierungen möglich, sondern es können auch komplexe Optimierungen mit mehreren, auch von einander abhängigen Zielen (Multi-Objective-Optimierung) durchgeführt und dargestellt werden.

Bild 2 zeigt das Effizienzdiagramm („Efficiency Map“) des geschilderten DC Brushless Motors in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment. Dunkleres

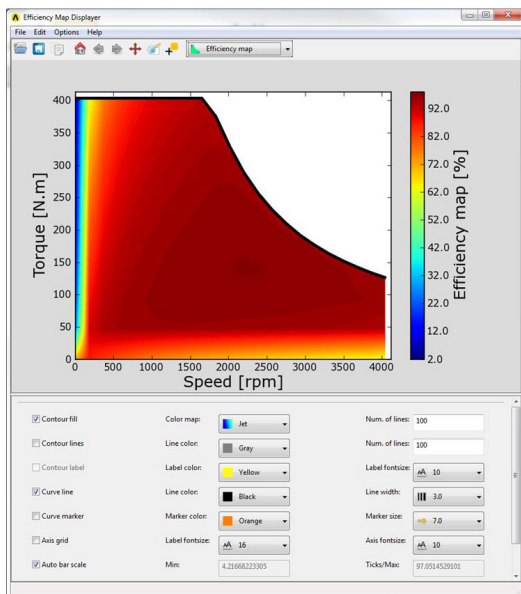


Bild 2

Rot veranschaulicht dabei den Bereich der höchsten Effizienz. Der große tiefrote Bereich zeigt die erfolgreiche Optimierung: Auch ohne vorgeschaltetes Getriebe arbeitet der Motor in einem weiten Drehzahl- und Drehmomentband sehr effizient.

Bild 3 zeigt das Auswahlmenu weiterer Berichte derselben Simulation. Im Bild werden die Abhängigkeiten von Eingangsstrom, Gesamtverlusten, Kernverlusten (Core Losses) und der Leistungsfaktor wie bei der Effizienzkarte jeweils in Abhängigkeit von Drehzahl und Drehmoment dargestellt. So können einzelne Parameter gezielt optimiert bzw. die Auswirkungen von Optimierungen auf diese Parameter gezielt betrachtet werden. Mehrdimensionale Optimierungen können automatisiert soweit durchgeführt werden, bis eine Verbesserung eines Parameters zwangsweise zu einer Verschlechterung eines anderen Parameters führen muss. Man bezeichnet diesen Fall dann als Pareto-Optimum. Die zugeordneten Simulationen mit den entsprechenden abhängigen Parametern können dann im Diagramm als Pareto-Front dargestellt werden, was Entscheidungen über die Priorisierung von Lösungen nach einzelnen Gesichtspunkten deutlich erleichtert. Selbstverständlich können aus den speziellen Optimierungszielen abgeleitete eigene Qualitätsfunktionen („Goodness“) definiert werden. Es können auch andere bzw. weitere Analyse- und Optimierungsverfahren wie Sensitivity, SixSigma, Differentielle Evaluierung („DE“) und Response Surface („RS“) sowie Mischformen der beiden letzteren Verfahren eingesetzt werden. Mit den optimierten Parametern können die ursprünglichen Templates weiter verfeinert werden und auf Systemebene die Auswirkungen auf das nun optimierte Gesamtsystem einschließlich Last verfolgt werden.

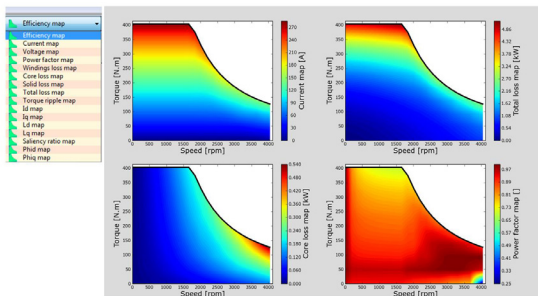


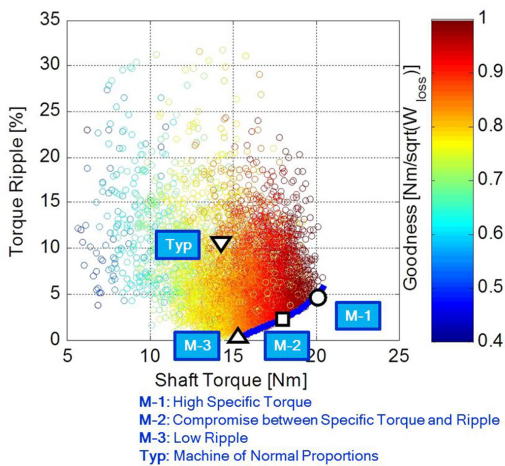
Bild 3

Weitere Möglichkeiten

Analog zu den elektromechanischen Grundanalysen mit Maxwell können über die im RMxprt integrierten Interfaces auch weiterführende Analysen in anderen Domänen und mit anderen Simulationspaketen von ANSYS durchgeführt und so die spezifischen Templates weiter optimiert werden. Dies schließt umfangreiche thermische und strukturelle Analysen mit ein. Mit letzteren können qualifizierte Aussagen zu entstehenden Vibrationen und Geräuschentwicklung gemacht werden. Ebenso können Materialermüdung und die daraus resultierende zu erwartende Lebensdauer ermittelt werden. So können neue Maschinen effizient nach den für die jeweiligen Anwendungen wichtigen Parametern optimiert und geeignete Betriebsbereiche bestimmt werden. Dies können technische (Drehmoment, Drehzahl, Maximal- und Minimalleistung, Betriebstemperaturen, maximal zulässige Vibrationen, etc.) oder kaufmännische (Wirkungsgrad, Materialkosten, erwartete Lebensdauer, etc.) Parameter sein. In allen Fällen profitiert der Entwickler von der intuitiven Bedienoberfläche und der durchgängigen Integration aller Simulations- und Auswertungspakete von ANSYS.

Zusammenfassung und Ausblick:

Das Beispiel zeigt anschaulich, wie schnell und mit welchem geringem Aufwand verschiedene Auslegungsvarianten einer möglichen Lösung auf grundsätzliche Eignung getestet und auf die jeweilige Anwendung optimiert werden können. Die umfangreichen Auswertungsmöglichkeiten der Simulationsergebnisse ermöglichen eine genaue Abschätzung der jeweiligen Vor- und Nachteile und Kosten bereits am virtuellen Prototyp.



So können Aufwand und Möglichkeiten (Leistungsdaten) bereits frühzeitig abgeschätzt werden, was bereits in der Entwicklungsphase zu deutlicher Zeitersparnis und Kostenreduzierungen führt. Entscheidend für den Erfolg des Entwicklers ist dabei aber nicht nur die Qualität der Werkzeuge, sondern auch die Einfachheit der Bedienung und die Qualität der Unterstützung durch den Hersteller; speziell in der Einführungsphase des Werkzeugs. ANSYS ist nicht umsonst seit mehr als 30 Jahren Marktführer.

Beispiel zur Pareto-Optimierung:

Ausgangspunkt war ein handelsüblicher DC Brushless Standardmotor, dessen Leistungscharakteristik so optimiert werden sollte, dass bei einer spezifischen Stromstärke ein maximales Drehmoment genutzt werden kann (MTPA= Maximum Torque per Amp). Zwingende Nebenbedingungen waren, dass das Drehmoment auf der Abtriebswelle unter Last (Torque Ripple) nicht mehr als maximal 3% schwankt und dass ein maximales Drehmoment von 15 Nm erreicht werden konnte.

Diese Werte wurden beim Ausgangsmotor mit rund 10% und 14 Nm jedoch deutlich bzw. knapp verfehlt. Das Bild zeigt das Ergebnis der Pareto-Optimierung. Alle realisierbaren Optima liegen dabei auf der blau eingezeichneten Pareto-Front. Die Motorvariante M-1 stellt das Optimum in Bezug auf das maximal erzielbare spezifische Drehmoment dar, M-3 das Optimum in Bezug auf geringstmögliche Drehmomentschwankungen. Die Variante M-2 realisiert einen Kompromiss zwischen den beiden Extremen, mit dem die Forderung nach maximal 3% Drehmomentschwankung bei einem möglichst hohen spezifischen Wirkungsgrad (bezogen auf den Eingangsstrom) gerade noch erfüllt werden kann. Dabei werden ein Optimierungsfaktor von über 0,9 und ein maximales Drehmoment von rund 18 Nm erreicht, was die Forderung von mindestens 15 Nm übertrifft. Folgt man der Paretofront nach unten in Richtung M-3, so könnte der Torque Ripple bis zum Erreichen der 15Nm-Grenze weiter reduziert werden. Dies ginge allerdings zu Lasten des ursprünglichen Designzieles, nämlich eines möglichst hohen spezifischen Wirkungsgrades, da hier der Optimierungsfaktor auf unter 0,8 absinkt.

ANSYS Germany GmbH
 Birkenweg 14a
 D-64295 Darmstadt
 Tel.: +49 (0)6151-3644-0
 E-Mail: info-germany@ansys.com
 Web: www.ansys-germany.com

Über ANSYS, Inc.

ANSYS, Inc. (Nasdaq: ANSS) gibt seinen Kunden durch schnelle, genaue und verlässliche Simulationen die Fähigkeit, ihre komplexen Design-Herausforderungen in der Produktentwicklung klar strukturiert und mit hohem Erkenntnisgewinn zu bewältigen. Unsere Technologie ermöglicht es Unternehmen – egal welcher Branche sie angehören – mit großer Sicherheit vorherzusagen, dass ihre Produkte im Alltag Erfolg haben. Kunden vertrauen darauf, dass unsere Software ihnen dabei hilft, die Produktintegrität und den Erfolg ihres Unternehmens durch stetige Innovationen sicherzustellen. 1970 gegründet, beschäftigt ANSYS etwa 2.700 Fachkräfte, von denen viele Experten in Engineering-Bereichen sind, wie u. a. der Finiten-Elemente-Methode, numerischen Strömungsmechanik, Elektronik und Elektromagnetismus sowie Design-Optimierung. Mit dem Firmensitz südlich von Pittsburgh, USA, unterhält ANSYS mehr als 75 strategisch angesiedelte Vertriebsstandorte weltweit sowie ein Netzwerk von Vertriebspartnern in mehr als 40 Ländern. Weitere Informationen finden sich auf www.ansys.com.