

Betriebsanalysen und Optimierung mechatronischer Antriebsstränge

BOMA

Projekt: Betriebsanalysen und Optimierung mechatronischer Antriebsstränge (BOMA)

Laufzeit: 01.04.2013 bis 30.06.2015

Gesamtkosten: 143.000,00 €

Davon Förderung: 143.000,00 €

Projektleiter:

Prof. Dr. Andreas Kremser

Institut ELSYS

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Internationale gesetzliche Regelungen, die europäischen Klimaschutzziele und die von der Bundesregierung geforderte Energiewende verlangen verbesserte und neue Konzepte im Bereich der Energietechnik. Aktuell stellen elektrische Antriebe mechatronischer Antriebssysteme den größten Anteil des Gesamtstrombedarfs der deutschen Industrie dar. Somit werden optimierte Antriebskonzepte erforderlich, die eine Steigerung der Gesamtwirkungsgrade bewirken und so Energie und Kosten sparen. Für die Industrie bedeutet das in der Praxis verlässliche und präzise Aussagen zur Energieeffizienz ihrer Anlagen treffen zu können. Neben einer positiven Energiebilanz kann das zudem einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für die Unternehmen bedeuten.

Das Forschungsprojekt BOMA hat dazu effiziente, kostengünstige und zugleich dynamische Antriebe ohne Seltenerde-Magnete mit geeigneter Entwurfsmethodik entwickelt, welche Energieeinsparungen von bis 20 % erzielen können.

Ziele

Im Forschungsvorhaben BOMA sollten anwendungsbezogene Fragestellungen zur Effizienzsteigerung untersucht werden, die zum heutigen Stand noch nicht ausreichend beantwortet sind und aufgrund sich ändernder Normen und Richtlinien sowie der materiellen Abhängigkeit von Asien zunehmend an Bedeutung gewinnen. Im Fokus standen dabei die energetische Optimierung von mechatronischen Antriebssträngen, die methodische Unterstützung des Entwurfs- und Optimierungsprozesses von elektrischen Antriebssystemen und die Entwicklung effizienter dynamischer Antriebe ohne Permanentmagneten.

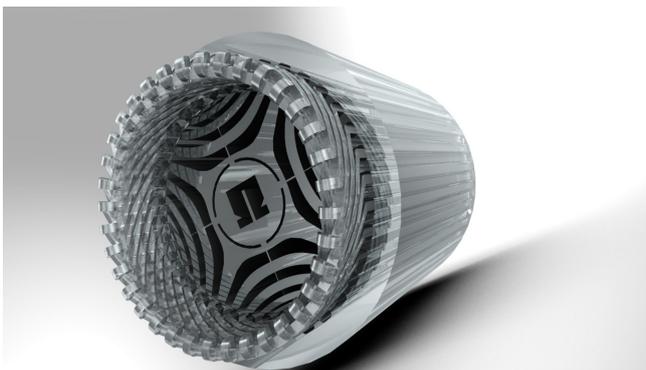


Abb.1: Entwickelte, optimierte Maschine als 3D-Ansicht

Projektverlauf

Um das komplexe energetische Verhalten von mechatronischen Antriebssystemen abbilden zu können, wurden zu Beginn entsprechende Simulationsmodelle von kompletten Systemen aufgebaut. So konnten verschiedene Antriebskomponenten hinsichtlich ihrer Energieeffizienz untersucht werden. Das entwickelte Programm hat den Vorteil, dass sich Energieumsätze für komplette Betriebszyklen berechnen lassen und damit die energetisch optimale Auslegung von Antriebssystemen unterstützt werden kann. So kann der Energieumsatz einer Anlage bereits bei der Anlagenplanung exakt abgeschätzt und Einsparpotenziale identifiziert werden. Zur Verifizierung der Modelle wurden zahlreiche Messungen sowohl auf den Prüfständen der TH Nürnberg als auch an der Demonstrationsanlage des Projektpartners aus der Industrie, Klinkhammer Förderanlagen GmbH, durchgeführt. Dabei stellten die Auswahl der geeigneten Komponenten sowie das gewählte Fahrprofil die wichtigsten Kriterien für den Energieverbrauch des Gesamtsystems dar. Hier wurden intensive Untersuchungen zur Optimierung der Fahrprofile und Betriebsstrategien durchgeführt. Da derartige Aussagen zur Energieeffizienz einerseits stets durch gesetzliche Regelungen gefordert werden und andererseits einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil für Unternehmen bilden, war die Identifikation eben jener Kriterien ein wichtiges Ziel für die am Projekt beteiligten Industrieunternehmen.

Im Forschungsfeld des zu entwickelnden dynamischen Antriebs, in Form von einer rotierenden elektrischen Maschine ohne Seltene-Erden-Magnete, wurde eine Synchron-Reluktanzmaschine als antreibender Motor gewählt. Zuerst wurden dazu analytische und numerische Abschätzungen zur Leistungsfähigkeit im Bereich der Servoanwendungen durchgeführt. Weiter wurde ein vereinfachtes analytisches Modell zur Berechnung der Luftspaltinduktion unter Berücksichtigung nichtlinearer Sättigungseinflüsse des Eisenkreises erstellt. Dabei dient das Rechenprogramm der Abschätzung und Bewertung von diversen Rotorentwürfen hinsichtlich ihrer Eignung im Einsatz von Synchron-Reluktanzmaschinen. Die Abschätzung und Bewertung erfolgt hierbei ohne großen Rechenaufwand. Darüber hinaus kann das analytische Maschinenmodell auch als Grundlage für eine automatisierte Modellbildung für weiterführende numerische Berechnungen mittels der Finiten-Elementen-Methode dienen. Unter Verwendung numerischer Feldrechnungen wurden zudem Sättigungseinflüsse und magnetische Querkopplungen in Reluktanzmaschinen untersucht. Es zeigte sich, dass gerade im Überlastverhalten nichtlineare Sättigungseinflüsse

und insbesondere auch magnetische Querkopplungen der beiden Achsen besondere Beachtung im Design der Maschine bedürfen und weitere Untersuchungen folgen mussten. Da die magnetische Querkopplung zu berücksichtigen ist, wurden (semi-)analytische Modelle auf Basis nichtlinearer Reluktanznetzwerke erstellt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der analytischen und numerischen Abschätzungen zur Leistungsfähigkeit der Synchron-Reluktanzmaschine im Bereich der Servoanwendungen zeigten einen hohen Wirkungsgrad, eine hohe elektromagnetische Ausnutzung sowie eine hohe Dynamik durch kleine Massenträgheiten des Reluktanzläufers, insbesondere im Vergleich mit den am meisten verwendeten Industriemotoren, den Asynchronmaschinen. Auch das Rechenprogramm zur Abschätzung und Bewertung der Einsatzzeignung von verschiedenartigen Rotorentwürfen in Reluktanzmotoren zeigte im Vergleich mit kommerziellen numerischen Rechenprogrammen gute Übereinstimmungen. Die vielversprechenden Simulationsergebnisse wurden bei ersten Vergleichsmessungen am Prototypen bestätigt. Hierfür wurde eine Reluktanzmaschine auf Basis einer Asynchronmaschine gebaut und getestet. Im S1-Betrieb (Dauerbetrieb mit konstanter Belastung) konnte die elektromagnetische Ausnutzung unter der Voraussetzung der gleichen Erwärmung um ca. 20 % gegenüber der Asynchronmaschine gesteigert werden. Da bei starker Überlast aufgrund von starken Sättigungseffekten im Statorjoch nur Drehmomente von ca. 90 % im Gegensatz zur Vergleichsmaschine erreicht werden konnten, musste der Statorschnitt zur Steigerung der Überlastfähigkeit gesondert ausgelegt werden. Eine Auslegung anhand einer Asynchronmaschine erwies sich hier als unpassend. Berechnungen mit den entwickelten Modellen zeigten, dass eine optimierte Auslegung von Stator und Rotor zu einer weiteren deutlichen Steigerung der Leistungsdichte der Synchron-Reluktanzmaschine führt – insbesondere gegenüber der vergleichbaren Asynchronmaschine und sowohl bei Überlast als auch im S1-Betrieb. Die Ergebnisse wurden abschließend mittels Vergleichsmessungen am Motorenprüfstand an dem im Forschungsvorhaben optimierten Prototypen verifiziert und bewertet.

Projektleiter
Prof. Dr. Andreas Kremser
Telefon: 0911/5880 1409
E-Mail: andreas.kremser@th-nuernberg.de

Institut ELSYS
Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm

www.th-nuernberg.de

Fördergeber



Projektpartner aus der Wissenschaft



Projektpartner aus der Industrie

Bosch Rexroth AG
Klinkhammer Förderanlagen GmbH