

Abgleich von FEM & Messungen im Bereich hoher Sättigung

Heute werden zunehmend umrichter gespeiste Elektromotoren als Antriebe in Maschinen und Anlagen aller Art eingesetzt. Dabei ist der Trend zum Einsatz von Direktantrieben, deren Drehzahl je nach Anwendung besonders hoch oder gering ist, ungebrochen ebenso wie der Trend zur Substitution klassischer mechanischer Antriebe durch Elektroantriebe. Andererseits bestehen pneumatische und vor allem hydraulische Antriebe im Vergleich zu heute verfügbaren Elektroantrieben durch eine sehr hohe Drehmoment- bzw. Kraftdichte. Sie sind daher in bestimmten Bereichen der Antriebstechnik derzeit unverzichtbar, obgleich sie einen relativ geringen Systemwirkungsgrad sowie relativ schlechte Regeleigenschaften (aufgrund von Nichtlinearitäten) besitzen und den Einsatz ggf. problematischer Fluide erfordern.

Dauerleistung bei 2000 min ⁻¹	48,2 kW
Dauerdrehmoment *	243,8 Nm
Max. Dauerstrom *	380 A
Drehzahlbereich	0 - 3000 min ⁻¹
Bemessungsdrehzahl	1000 min ⁻¹
Eckdrehzahl	~2700 min ⁻¹
Polpaarzahl	10
Nutzahl	24
Zwischenkreisspannung	540 V
Luftspaltlänge	1,5 mm
Aktivteillänge	42 mm
Außendurchmesser des Stators	282,5 mm
Außendurchmesser des Rotors	215,4 mm
Kupferfüllfaktor	0,68
Maximal zulässige Stromdichte	60 A/mm ²
Wicklungstopologie	Gießtechnisch hergestellte Zahnpulenkwicklung
Kühlung	Direkte Leiterkühlung (8 Kanäle je Spule)



* bei Bemessungsdrehzahl und max. 150°C Wicklungstemperatur

Im Forschungsvorhaben FVA 800 I wurde das Potential zur Erhöhung der Drehmomentdichte anhand eines entwickelten und aufgebauten Funktionsprototyps nachgewiesen. Durch den erfolgreichen Einsatz der gießtechnisch hergestellten Zahnpulenkwicklungen mit integrierten Kühlkanälen für direkte Leiterkühlung konnten Dauerstromdichte von bis zu 48 A/mm² erreicht werden. Im Vergleich zum Ausgangs-Torque-Motor kann theoretisch ein bis zu 5-fach höheres Drehmoment erzielt werden. Offen geblieben ist jedoch die Fragestellung, ob das in FVA 800 I entwickelte analytische Berechnungsverfahren sowie die klassische FEM-Simulation auch geeignet sind, das Betriebsverhalten von Motoren im Bereich sehr hoher Stromdichten und gleichzeitig hoher Sättigung korrekt vorherzusagen. Ebenso bleibt zu verifizieren, ob der in FVA 800 I entwickelte Maschinenprototyp die prognostizierten Drehmomente im Bereich starker Sättigung erreichen kann. Dazu wird in diesem Folgeprojekt FVA 800 II das 2D-Modell zu einem 3D-Modell erweitert und das Maschinenverhalten am 3D-Modell simuliert, um Randeffekte durch Streufelder im Stirnbereich der axial sehr kurzen Rotorbauweise zu berücksichtigen. Zusätzlich wird eine umfangreiche Prüfung des Funktionsdemonstrators auf dem Leistungsprüfstand des Fraunhofer IFAM durchgeführt.

Die Gegenüberstellung der 3D-Simulationsergebnisse und der Messwerte am Prüfstand zeigt eine hohe Übereinstimmung. Es werden Stromdichte von bis zu 51,25 A/mm² nachgewiesen. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass die klassische FEM-Simulation und das analytische Berechnungsverfahren grundsätzlich auch zur Vorhersage des Maschinenverhaltens bei hoher Sättigung und gleichzeitig hohen Stromdichten geeignet sind. Im vorliegenden Fall bedarf es der 3D-Simulation zur Berücksichtigung von Streufelder im Stirnbereich des axial sehr kurzen Rotors.

Die Ergebnisse knüpfen an die Wissensbasis des Vorgängerprojekts FVA 800 I an und liefern Herstellern und Anwendern, die auf dem Gebiet der elektrischen Antriebstechnik tätig sind, präzise Information über die Dimensionierung und Berechnung sowie das reale Verhalten elektrischer Maschinen mit hoher Leistungsdichte, wie z.B. Torque-Motoren für den Ersatz in Hydraulikapplikationen. Die Erweiterung des bestehenden Wissens ist von hoher Bedeutung, um eine schnellere und zielsichere Dimensionierung und Berechnung elektrischer Maschinen mit direkter Leiterkühlung zu ermöglichen und folglich eine Reduktion von Entwicklungszeit und Kosten zu erzielen.

Autor: **Leander Eschenmann**
Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik
Leibniz Universität Hannover

Meiken Adebahr
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte
Materialforschung IFAM

Kontakt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)
Henrik Schenk
Tel.: 069 / 66 03-1127

Das Projekt 800 II der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde über Eigenmittel finanziert.

Hintergrundinformationen zur FVA

Die FVA (Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V.) ist das weltweit erfolgreichste und größte Forschungs- und Innovationsnetzwerk in der Antriebstechnik. Zusammen mit rund 200 Unternehmen und 100 Forschungsinstituten haben wir bisher weit über 2.000 Projekte realisiert.

Die Antriebstechnik voranzubringen – das ist das Ziel der FVA. Dazu bringen wir Industrie und Forschung zusammen. Dies zu moderieren, neues Wissen zu erforschen, Effizienz und Erkenntnisse zu schaffen – das macht uns zum Innovationsförderer unsere Branche.

Für unsere Mitglieder bedeutet das einen mehrfachen Return-on-Invest: Austausch und Kenntnistransfer in der FVA-Community, Mitgestaltung an der Forschung, Teilhabe an neuestem Wissen, Ausbildung von jungen Ingenieur*innen, passgenaue Weiterbildung, Reduzierung von F+E Kosten.

Das kommt unseren Mitgliedsunternehmen, dem Forschungsstandort Deutschland und allen Beteiligten Menschen zu Gute. Denn unsere vorwettbewerbliche Gemeinschaftsforschung ist etwas ganz Besonderes. Gemeinsam geht einfach mehr. Dafür bündeln wir Ressourcen, auch finanzielle, moderieren Kommunikation und Prozesse. Wir helfen, Ideen zu verwirklichen.

Weitere Informationen unter www.fva-net.de.