

Energieoptimale Drehmomentsteuerung und Auslegung von hochdynamischen Asynchronantrieben unter besonderer Berücksichtigung der transienten Stromverdrängung.

DFG – HO 1483/60-1, 2011 - 2014

DFG – HO 1483/60-2, 2014 - 2016

DFG – HO 1483/60-3, 2017 - 2019

Zusammenfassung:

Im Projekt wurden Möglichkeiten für die energieoptimale Regelung und Auslegung der hochdynamisch betriebenen Asynchronmaschine untersucht. Bei der optimalen Auslegung wurden analytische Ansätze für eine verlustreduzierte Nutgeometrie gefunden. Diese Ansätze wurden jetzt numerisch durch die Optimierungsergebnisse von drei modernen populationsbasierten, metaheuristischen Optimierungsalgorithmen bestätigt, die jeweils für eine Zielgröße (Trägheitsmoment) und für zwei Zielgrößen (Trägheitsmoment und dynamischer Stromverdrängungsfaktor) entwickelt wurden, wobei sich die anderen Betriebsparameter wie Leistungsfaktor, Wirkungsgrad, Überlastfähigkeit nicht verschlechtern sollten. Durch den Vergleich der Nutformen entlang der Paretofront der optimalen Maschinen konnte der analytische Ansatz bestätigt werden, dass die Reduzierung der Stabhöhe und die Vergrößerung des Nutbreiteverhältnisses die zwei effektivsten Maßnahmen zur Verminderung der dynamischen Stromverdrängungsverluste sind. Zudem führte die Optimierung zu einer größeren Eisenlänge und einem kleineren Bohrungsdurchmesser, was ebenfalls bei der vorangehenden analytischen Untersuchung herausgefunden wurde. Auf alle Fälle lieferten die numerischen Optimierungsalgorithmen deutlich verbesserte Optimierungsergebnisse. Nach Vergleich einer optimalen Maschine mit der Referenzmaschine UHTK.4-4 können das Rotorträgheitsmoment um 23% von $2,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ auf $2,07 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ und der dynamische Stromverdrängungsfaktor um 17% von 1,277 auf 1,063 reduziert werden.

Anhand der Messergebnisse am Modellversuchsstand sind die Einflüsse der dynamischen Stromverdrängung bei unterschiedlichen Stromverläufen und Stabformen eindeutig erkennbar. Die gemessenen Stromwärmeverluste, verursacht durch Stromverdrängung, stimmen mit den vorher theoretischen ermittelten Ergebnissen sehr gut überein. Aus der Messung der zeitlichen Temperaturverteilung wurde festgestellt, dass der Temperaturunterschied innerhalb des Stabs bei transienter Stromverdrängung sehr gering ist. Damit ist eine kontaktlose Temperaturmessung am Kurzschlussring mit Infrarottemperatursensor für die thermische Untersuchung des gesamten Rotorkäfigs gestattet.

Am Antriebsprüfstand mit dem Versuchsmotor wurde das Regelprogramm mit der zeit- und energieoptimalen Drehmomentregelung auf das Echtzeitsystem Autobox II importiert. Durch die Energiemessung wurde gezeigt, dass die energieoptimale Drehmomentkurve nur 76,73 % der Verlustenergie der zeitoptimalen Drehmomentvorgabe besitzt. Beim Dauerversuch zeigt sich, dass der Verlustzuwachs durch transiente Stromverdrängung beim zeitoptimalen Stellvorgang eine Temperaturzunahme des Rotorkäfigs um 22 K auf 182 °C zur Folge hat. Diese Temperatur kann aber durch den Einsatz der energieoptimalen Steuerkurve wieder um 27 K vermindert werden.

Aus den Messkurven der feldorientierten Regelung lässt sich erkennen, dass die Pseudo-Rotorflussorientierung mit Kettenleiter-Modell genauso gut wie die Rotorflussorientierung ohne Kettenleiter-Modell funktioniert, wobei die Momentistwerte von Motormodellen berechnet werden, da das Messsignal von der Messwelle mit starken Wechselgrößenstörsignalen überlagert war.

Obwohl ein störsicheres Drehmomentmesssystem inzwischen installiert und die betreffenden Messungen wiederholt wurden, konnten die Schwingungen in den Messwerten nicht beseitigt werden. Der Vollständigkeit halber werden die an der Messwelle gemessenen Werte im Anhang angegeben.

Bei der weiteren praktischen Untersuchung konnte die generelle Funktionalität der Online-Parameter-identifikation mit dem Luenberger-Beobachter nachgewiesen werden. Am Beispiel mit einem konstanten Moment konnte gezeigt werden, dass die Rotorzeitkonstante des Versuchsmotors erfolgreich bestimmt werden kann. Beim zeitoptimalen Drehmomentwechsel ist die Änderung der geschätzten Rotorzeitkonstante zu jedem Zeitpunkt der Drehmomentänderung deutlich erkennbar. Allerdings stimmt der Adaptionsverlauf der Rotorzeitkonstante nur teilweise mit dem nach der Theorie erwarteten Verlauf überein. Zusammenfassend sind alle Rechenmethoden der dynamischen Stromverdrängungsverluste für die lastspielgerechte Auslegung der hochdynamischen Asynchronmaschine geeignet. Ein endgültiger Nachweis im Messsignal des Drehmoments bleibt der Dissertation Zhang vorbehalten, nachdem ein genereller Umbau des Versuchsstands und eine Ertüchtigung für dynamische Drehmomentwechsel erfolgt sind.
