

Forschungsberichte Elektrische Antriebstechnik und Aktorik

Band 1

Andreas Schramm

**Redundanzkonzepte für
Geschaltete Reluktanzantriebe**

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: München, Univ. der Bundeswehr, Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2006

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5260-6

ISBN-13: 978-3-8322-5260-1

ISSN 1863-0707

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung

Die Arbeit ist in vier Teile aufgegliedert.

In Teil I werden die Grundlagen Geschalteter Reluktanzmaschinen behandelt.

Um das Betriebsverhalten elektrischer Maschinen genau berechnen zu können, ist es unerlässlich, die Stirnräume der Maschinen in die Betrachtung der magnetischen Felder einzubeziehen.

In Teil II der Arbeit wird zunächst ein einfaches analytisches Modell vorgestellt, das es erlaubt, die magnetische Feldverteilung im Wickelkopfraum ungesättigter Maschinen mit kleinem Luftspalt zu berechnen. Das Modell deckt die Geschaltete Reluktanzmaschine also nur in der d-Stellung ab. Darüber hinaus berücksichtigt es lediglich den (in der d-Stellung dominanten) Anteil der Luftspaltstreueung am Wickelkopffeld. Der Anteil, der durch die Wickelkopfspule an sich verursacht wird, wird nicht detailliert betrachtet. Die Berechnungsergebnisse werden mit Messungen und FE-Analysen verglichen und zeigen gute Übereinstimmung.

Im zweiten Schritt wird das Modell auf beliebige Rotorpositionen ausgedehnt. Zusätzlich wird ein analytisches Verfahren zur Berechnung der Induktivität der Wickelkopfspulen vorgestellt. Somit ist es nun möglich, den Beitrag des Wickelkopfes zur Stranginduktivität für beliebige Rotorpositionen zu berechnen. Damit kann diese – einen linearen Magnetischen Kreis vorausgesetzt – mit deutlich geringerem Rechenaufwand, als ihn eine 3D-FEM Rechnung bedeutet, bestimmt werden. Die Ergebnisse einer relativ wenig Rechenleistung und –zeit erfordernden 2D-FE-Analyse einer Geschalteten Reluktanzmaschine werden um das Resultat der beschriebenen Berechnungen ergänzt. Das Endergebnis wird wiederum mit Messwerten verglichen. Es zeigt sich, dass die Maschine mit insgesamt guter Genauigkeit nachgebildet wird.

Teil III behandelt fehlerreduzierende Geschaltete Reluktanzantriebe.

Zunächst werden mechanische, elektronische und regelungstechnische Maßnahmen erläutert, die der Verminderung von Netzrückwirkungen Geschalteter Reluktanzantriebe dienen, wie sie gerade in Netzen niedriger Impedanz (z.B.: Bordnetze von Kraft- oder Luftfahrzeugen) auftreten können. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wird am Beispiel einer bestimmten Applikation überprüft. Eine einfache, kostengünstige Vorsteuerung des Ausschaltwinkels, mit der Zwischenkreisspannung als Eingangsgröße, erweist sich als effektiv, so lange eine moderate Drehmomentwelligkeit hinnehmbar ist. Eine Veränderung der Getriebeübersetzung und eine damit verbundene Erhöhung der Drehzahl, bei gleichzeitiger Verminderung der Drehmomentanforderung (und damit des Strangstroms), erweist sich, genau wie eine Erhöhung der Zwischenkreiskapazität, als ebenso effektiv und hinsichtlich der Drehmomentgüte sogar besser, als die zuvor erwähnte Vorsteuerung.

Allerdings sind diese Maßnahmen deutlich kostenintensiver.

Vollständige Fehlerredundanz kann bezüglich der elektrischen Maschine auf unterschiedliche Arten erzeugt werden: Entweder wird eine zweite Maschine installiert, die im Schadensfall der ersten Maschine die Funktionalität des Antriebs sicherstellen kann. Oder es kommt eine Maschine zum Einsatz, die zwei voneinander unabhängige Wicklungssysteme enthält, von denen jeweils eines die Funktionalität des Antriebs allein sicherzustellen vermag. In einem weiteren Abschnitt wird eine analytische Methode zur Abschätzung von Gesamtlänge und Volumen der beiden Maschinentopologien vorgestellt. Aufgrund zahlreicher Vereinfachungen ermöglicht diese Betrachtung keine detaillierte Maschinenauslegung, sondern liefert lediglich einen Startwert für eine solche. Bei der beispielhaften Wahl der Eingangsgrößen erweist sich die zweitgenannte Maschinentopologie als raumökonomischer. Es zeigt sich, dass das Ergebnis der Abschätzung stark von der verfügbaren Spannungsreserve abhängt.

Für eine konkrete Applikation, einen Elektromechanischen Aktuator, werden schließlich alternative, Fehlerredundanz bietende Maschinenkonfigurationen als Antrieb untersucht. Ein umfassender Überblick über Antriebskonfigurationen, die Fehlerredundanz verschiedener Ausprägungsgrade ermöglichen, wird gegeben. Anschließend werden Auslegungsergebnisse unterschiedlicher Maschinentopologien präsentiert. Im Gegensatz zur theoretischen Betrachtung des vorangehenden Abschnitts vereint ein Ansatz mit zwei einfachen Maschinen auf einer gemeinsamen Welle die meisten Vorzüge auf sich.

Teil IV untersucht Geschaltete Reluktanzantriebe und Antriebe mit PM-Maschinen auf ihre Tauglichkeit für die $270V_{DC}$ -Spannungsebene unter besonderer Berücksichtigung der Fehlerredundanz. Zunächst werden Wicklungsfehlermöglichkeiten und deren Auswirkungen für beide Maschinentopologien analysiert. Anschließend wird ein Überblick über gängige und Sonderbauformen beider Maschinenarten gegeben. Reluktanzmaschinen und PM-Maschinen werden anhand dreier Applikationen beispielhaft miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass PM-Maschinen grundsätzlich eine höhere Leistungsdichte und meist auch bessere Wirkungsgrade bieten als Geschaltete Reluktanzmaschinen. Dennoch bieten letztere entscheidende Vorteile, sofern Fehlerredundanz und niedrige Ausfallwahrscheinlichkeit zu den technischen Forderungen zählen. Gerade die Eigenschaft, bei Auftreten jedweddes der möglichen Wicklungsfehler kein Bremsmoment zu erzeugen oder gar zum Blockieren zu neigen, macht die besondere Eignung der Geschalteten Reluktanzmaschine für sicherheitskritische Anwendungen aus. Zuletzt wird ein Überblick über absehbare technische Innovationen auf dem Gebiet der elektrischen Antriebstechnik gegeben, die den vermehrten Einsatz elektrischer Hilfsantriebe in der Luftfahrt weiterhin begünstigen.