

Aufgrund seiner Vorzüge kann der geschaltete Reluktanzantrieb für viele Antriebslösungen künftig eine zunehmende Alternative sein.

Foto: H. Spahn

Antriebstechnik

Geschaltete Reluktanzmotoren eignen sich für viele Anwendungsgebiete

JÜRGEN WOLFF

Am Elektrotechnischen Institut der Universität Karlsruhe wurde eine zukunftsweisende Antriebs-einheit entwickelt, gefertigt und getestet. Im wesentlichen besteht sie aus einem Umrichter und einer Switched-Reluctance-Maschine mit einer Leistung von 36 kW bei einer Drehzahl von 1500 min⁻¹.

MM Für viele Anwendungsgebiete drehzahlvariabler Antriebe gilt der geschaltete Reluktanzmotor inzwischen als kostengünstige und leistungsstarke Alternative, denn er lässt

sich schnell entwerfen, optimieren und kostengünstig fertigen [1]. Um jedoch alle seine Vorteile nutzen zu können, ist ein leistungsfähiger Umrichter notwendig. Dieser setzt sich aus einem netzseitigen und einem maschinenseitigen Stromrichter zusammen.

Der Netzstromrichter ist ein dreiphasiger Transistor-Stromrichter. Die Regelung des Netzstroms ist so optimiert, daß der Antrieb im stationären Betrieb mit einem Leistungsfaktor von etwa eins Energie aus dem Drehstromnetz bezieht oder einspeist. Das bedeutet einen sinusförmigen Strom und die Übereinstimmung der Phasenlage zwischen Strom und Spannung. Daraus resultiert das hohe Maß an Netzfreundlichkeit (Bild 2).

der maschinenseitige Stromrichter erzeugt mit dieser Gleichspannung die für die Reluktanzmaschine geeigneten Stromblöcke. Frequenzumrichter und Reluktanzmaschine sind für den Vier-Quadranten-Betrieb geeignet. Der Leistungselektronik übergeben ist die Steuerelektronik einschließlich der Meß- und Regelungstechnik (Bild 1).

Netzstromrichter ermöglichen Vier-Quadranten-Betrieb

Der Netzstromrichter ist ein dreiphasiger Transistor-Stromrichter. Eine Elektronik regelt den Netzstrom und die zu erzeugende Gleichspannung. Die Regelung des Netzstroms ist so optimiert, daß der Antrieb im stationären Betrieb mit einem Leistungsfaktor von etwa eins Energie aus dem Drehstromnetz bezieht oder einspeist. Das bedeutet einen sinusförmigen Strom und die Übereinstimmung der Phasenlage zwischen Strom und Spannung. Daraus resultiert das hohe Maß an Netzfreundlichkeit (Bild 2).

Mit diesem Netzstromrichtern lassen sich im Vier-Quadranten-Betrieb hochdynamische Antriebslösungen realisieren. Wird ein solcher Stromrichter beispielsweise für den Hauptantrieb verwendet, so kann mit ihm zusätzlich noch Blindleistung der Hilfsantriebe kompensiert werden. Für Antriebe mit geringeren Anforderungen an Dynamik und Netzfreundlichkeit werden Diodenbrücken betrieben – allerdings weitgehend nur als Motor.

Steuern des Drehmoments auch ohne Digitalprozessoren

Alle umrichtergespeisten Elektromotoren haben eine mehr oder mindere Welligkeit im erzeugten Drehmoment. Je nach Anwendung der Antriebe wirkt sich diese Eigenschaft negativ auf die Drehzahlregelung und den Arbeitsprozeß aus. Deshalb ist eine minimale Drehmomentwelligkeit wünschenswert. Für den Versuchsantrieb wurde die Drehmomentsteuerung im Schaltbetrieb mit den Parametern Einschaltwinkel, Stromleitwinkel und Sollstrom auf hohe Ausnutzung und geringe Drehmomentwelligkeit optimiert.

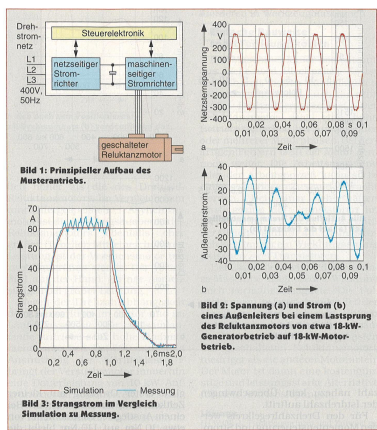


Bild 1: Prinzipieller Aufbau des Musterantriebs.

Bild 2: Spannung (a) und Strom (b) eines Außenleiters bei einem Lastsprung des Reluktanzmotors von etwa 18-kW-Generatorbetrieb auf 15-kW-Motorbetrieb.

Bild 3: Strangstrom im Vergleich Simulation zu Messung.

Der Einschaltwinkel bestimmt den Beginn des Stromanstiegs. Die Winkel-differenz zwischen beginnendem Stromanstieg und dem Beginn des Stromabbaus wird als Stromleitwinkel bezeichnet. Der Sollstrom bildet das Dach des in Bild 3 gezeigten Impulses. Schaltbetrieb bedeutet, daß der Strom nach dem Einschaltwinkel und ohne Zwischenakt auf den Endwert getrieben wird. Auf diesem Soll-Endwert wird der Strangstrom mit einem Zweipunktregler bis zum Erreichen des Leitwinkels gehalten, danach wieder ohne Taktten abgeschaltet. Diese Art der Drehmomentsteuerung läßt sich sehr einfach, auch ohne Digitalprozessoren, realisieren. Das im Versuchsantrieb implementierte Steuerverfahren wird sich nur geringfügig auf die Dreh-

zahl aus. Die verbleibende Drehmomentwelligkeit wird durch die Trägheit des Reluktanzmotors geglättet. Die Last wurde bei entsprechender Simulation als trägheitslos angenommen (Bild 4). Bereits bei diesen Betriebsbedingungen ist der Verlauf der Drehzahl weitgehend konstant. Hat die Last eine Trägheit, wird der Drehzahlverlauf noch gleichmäßiger.

Geschalteter Reluktanzmotor als drehzahlgereger Antrieb

Die Drehzahlregelung wurde nach einem in der elektrischen Antriebstechnik üblichen Verfahren entworfen und auf das Ausregeln von Drehzahl-schwankungen hin optimiert. Als Regler dient ein PI-Regler. Ein Hochläufer stellt sicher, daß bei einem Führungsprung der Dreh-

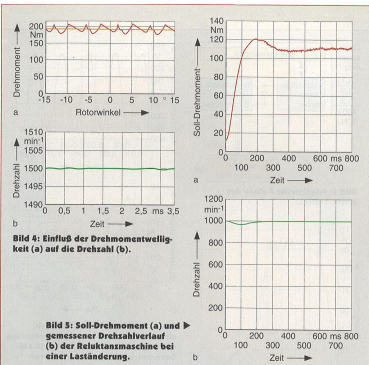


Bild 4: Einfluß der Drehmomentwelligkeit (a) auf die Drehzahl (b).

Bild 5: Soll-Drehmoment (a) und gemessener Drehzahlverlauf (b) der Reluktanzmaschine bei einer Laständerung.

von 3%, wie aus Bild 5 zu ersehen ist. Die Steilheit des Lastmomentanstiegs wurde von der angekoppelten Gleichstrommaschine vorgegeben. Zu den Antriebsaufgaben von Elektromotoren gehört auch das Positionieren von Werkstücken, Werkzeugen, Maschinenteilen oder Förderkörben. Das Meßergebnis nach Bild 6 weist nach, daß Switched-Reluctance-Antriebe als Positionierantriebe geeignet sind: Bei einem Lage-sprung von 1000° dreht der Motor rund 2,8 Umdrehungen und erreicht schließlich ohne Überschwingen nach einer Sekunde den Sollwert.

Zahnflächen des Rotors können Medien fördern

Der geschaltete Reluktanzantrieb läßt sowohl drehzahlveränderbare Antriebsaufgaben als auch Positionieraufgaben. Er eignet sich zum Beispiel im Maschinenbau, als Gebläseantrieb in der Verfahrenstechnik, als Waschmaschinenmotor und Pumpenantrieb in Industrie und Haushalt. Grundsätzlich besteht der Antrieb immer aus Umrichter und Reluktanzmotor und ist damit für den Vier-Quadranten-Betrieb geeignet. Bis in den mittleren Leistungsbereich ist der Stromrichteraufwand mit dem herkömmlicher Stromrichter für umrichtergespeiste Asynchronmaschinen vergleichbar. Die Zahnflächen des Rotors lassen sich als Förderkanäle für flüssige und gasförmige Stoffe und für Suspensionen nutzen. Somit kann der Reluk-

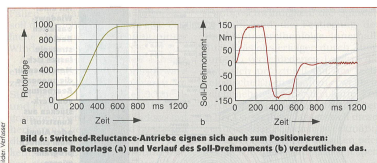


Bild 6: Switched-Reluctance-Antriebe eignen sich auch zum Positionieren: Gemessene Rotordrehzahl (a) und Verlauf des Soll-Drehmoments (b) verdeutlichen das.

Technische Daten des Versuchsmotors im Vergleich zum Asynchronmotor

Parameter	geschalteter Reluktanzmotor	Norm. Asynchronmotor
Leistung kW	23,5	26
Wärmeklasse	F	H
Drehzahl min ⁻¹	1500	1500
Baugröße/Achshöhe	132	132
Achshöhe	132	132
Gesamtlänge mm	777	777
Betriebsart	S1	S1
Schutzart	IP54	IP54

lich höher als die des Drehfeld-Reluktanzmotors. Im Vergleich zum umrichtergespeisten Asynchronmotor ist die Leistungsausbeute des Reluktanzmotors ebenfalls eher größer (Tabelle). Mit einer höheren Leistung ist der Versuchsmotor aus zwei Baugrößen kleiner. Der Vorteil liegt auf der Hand: geringe Abmessungen bei großer Leistung. Wegen der Drehzahlabhängigkeit der Eisenverluste im Stator und im Läufer lassen sich für langsamlaufende Antriebe sehr hohe Drehmomente erzeugen. Bei 500 min⁻¹ und Ausnutzung der Wärmeklasse F bringt der Versuchsmotor immerhin eine Dauerleistung von 10 kW. Aufgrund der im Außenbereich des Läufers befindlichen Zahnflächen hat der Reluktanzmotor im Vergleich zu anderen Motorarten ein kleines Trägheitsmoment. Damit über-

nimmt der Motor hochdynamische Antriebsaufgaben, wie etwa das Positionieren in Werkzeugmaschinen.

Einfache Bauweise spart Fertigungskosten

Der Maschinenläufer besteht nur aus Welle und Blechpaket. Er ist deshalb mit hohen Radialkräften belastbar und somit auch für sehr große Drehzahlen geeignet. Der Reluktanzmotor zeigt eine hohe Betriebssicherheit bei Ausfall einer oder mehrerer Motorphasen. Bei derartigen Fehlern läuft der Motor dennoch weiter. Die Arbeitsmaschine oder der Arbeitsprozeß kann so in einen gefahrlosen Zustand gebracht werden. Bei einer fehlerhaften Ansteuerung der Transistoren im Stromrichter tritt kein Kurzschluß der Gleichspannung auf. Grundsätzlich liegt immer ein Wicklungsstrang zwischen zwei Transistoren.

Der Läufer der Switched-Reluctance-Maschine trägt weder Wicklung noch Permanentmagnete. Die Folgewicklungen im feststehenden Teil der Maschine lassen sich sehr einfach herstellen und auf die Pole aufbringen. Damit sind die Fertigungskosten des geschalteten Reluktanzmotors niedriger als die anderer Motoren. Der Motor ist damit eine kostengünstige und leistungsstarke Alternative für viele Antriebslösungen.

Literatur
[1] Wolff, J.: Funktionsprinzip und Entwurf geschalteter Reluktanzmotoren. Maschinenmarkt 103 (1997) S. 74-77.