

Positionieraufgaben mit Geschaltetem Reluktanzantrieb

J. Wolff H. Späth C. Klaus

Kurzfassung: Dieser Beitrag zeigt an einem möglichen Anwendungsbeispiel, daß der Geschaltete Reluktanzantrieb für Positionieraufgaben mit relativ hohen Genauigkeitsanforderungen geeignet ist. Die Verwendung moderner Leistungs- und Steuerungselektronik, verbesserter Regelungsverfahren und einer neuen Motorgeometrie ermöglichen den notwendigen Gleichlauf des Motors.

Schlüsselworte: Geschalteter Reluktanzmotor (Switched-Reluctance-Motor),
Positionierregelung

Das Wirkungsprinzip des „Geschalteten Reluktanzmotors“, der in vielen Veröffentlichungen der englischsprachigen Literatur unter dem Namen „Switched-Reluctance-Motor“ propagiert wurde, ist denkbar einfach: Die Eisenzähne des mit einem Zahnrad vergleichbaren Maschinenläufers richten sich in das elektromagnetische Feld der ausgeprägten Satorpole aus. Durch gezieltes Weiterschalten des elektromagnetischen Feldes von einem Pol zum nächsten gerät der Motorläufer in eine kontinuierliche drehende Bewegung. Der immer zum Antriebssystem gehörende Frequenzumrichter übernimmt die Regelung der Ströme in den Polwicklungen und somit das gezielte Weiterschalten des elektromagnetischen Feldes. Mit dem Umrichter kann das Drehmoment, die Drehzahl und auch die Rotorlage des Geschalteten Reluktanzmotors gezielt beeinflußt werden.

Am Elektrotechnischen Institut der Universität Karlsruhe wurde in den vergangenen vier Jahren ein vollständiges Antriebskonzept mit Geschaltetem Reluktanzmotor für industrielle Anwendungen entwickelt, gebaut und getestet. Hierfür wurde ein viersträngiger Motor mit 16 ausgeprägten Statorpolen und 12 Rotorzähnen vorgeschlagen [1]. Der Anschluß an das 400V/50Hz-Drehstromnetz erfolgt über einen rückspeisefähigen Frequenzumrichter. Die Baugröße bzw. Achshöhe des Motors beträgt 132 mm. Bei der Drehzahl von 500 U/min liefert der Motor ein zulässiges Dauerdrehmoment von 300 Nm.

Als ein mögliches Anwendungsbeispiel für die Lageregelung mit einem Geschalteten Reluktanzantrieb wird das Arbeitsprinzip einer Schlittenschere („Fliegende Schere“) vorgestellt [2].

Ein Endlosmaterial, beispielsweise Papier oder Blech, wird auf einem Band kontinuierlich transportiert. Ohne das Band anzuhalten, soll das Endlosmaterial in Stücke definierter Länge zugeschnitten werden. Noch bevor die vorgegebene Schnittposition die Startposition des Schlittens erreicht hat, beginnt dieser bereits zu beschleunigen. Während des Schneidvorganges muß sich das auf dem Schlitten montierte Schermesser genau an der Position der Schnittposition mit dem Material bewegen. Nach Ende des Schneidvorganges wird der Schlitten abgebremst und wieder in die Startposition zurückgefahren (Bild 1).

Ein Antrieb wird zum Verfahren des Schlittens benötigt, ein zweiter für das auf dem Schlitten montierte Schermesser.

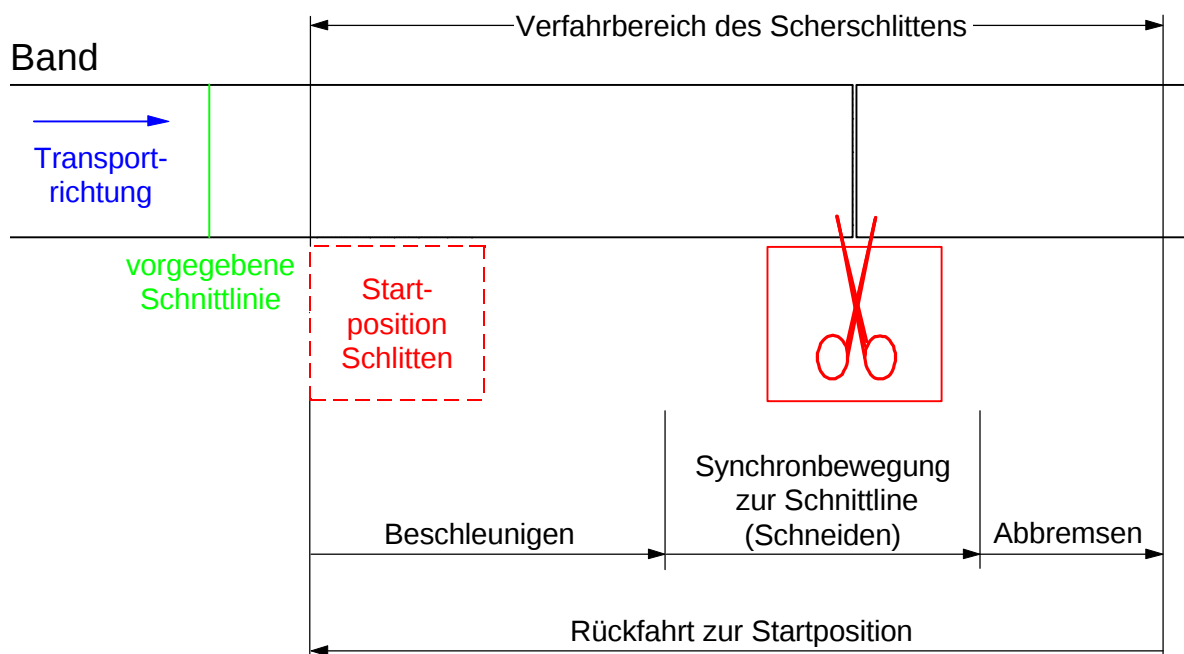


Bild 1: Arbeitsprinzip einer Schlittenschere

Die Anforderungen an den Schlittenantrieb sind hohes Dauerdrehmoment, kleines Trägheitsmoment und hohe Positioniergenauigkeit für Drehzahlen bis ca. 500 U/min. Hohes Drehmoment und kleines Trägheitsmoment ermöglichen einen kurzen Verfahrbereich des Schlittens und somit minimale Zeitabstände zwischen den Schneidvorgängen. Eine kleine Längentoleranz der zugeschnittenen Materialstücke kann nur mit exakter Positionierung des Schermessers zur vorgegebenen Material-Schnittposition eingehalten werden. Voraussetzung zur

Vermeidung eines Materialstaus während des Schneidvorganges ist die Übereinstimmung zwischen Band- und Schlittengeschwindigkeit.

Im Anwendungsbeispiel wird der Geschaltete Reluktanzantrieb für den Antrieb des Scherschlittens eingesetzt. Die Tabelle 1 zeigt die für diese Anwendung maßgeblichen Motordaten im Vergleich zu anderen Elektromotoren.

	Geschalteter Reluktanzmotor	Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer 6-polig	Synchronmaschine permanenterregt
Hersteller	Elbtalwerk (Universität Karlsruhe)	Elbtalwerk	Baumüller
Typ	MFR132.5/4	ACFA 132.5-B-6	DS 131 B
Dauerdrehmoment	300 Nm 280Nm	250 Nm	300 Nm
Lüfterleistung	370W 65W	65 W	550 W
Wärmeklasse	H	H	F
Trägheitsmoment	0,0883 kgm²	0,102 kgm² (Herstellerangaben)	0,078 kgm² (Herstellerangaben)
Vergleichsgrundlagen:	Drehzahl: 500 U/min Baugröße: 132 Betriebsart: Dauerbetrieb (S1) Schutzgrad: IP 23 Kühlung: durchzugsbelüftet (IC06)		

Tabelle 1: Vergleich möglicher Antriebsmotoren für einen Scherschlitten

Gegenüber dem Asynchronmotor bringt der Geschaltete Reluktanzmotor ein höheres Dauerdrehmoment bei niedrigerem Trägheitsmoment. Die permanenterregte Synchronmaschine besitzt das kleinste Trägheitsmoment. Aufgrund der notwendigen Permanentmagnete ist ihr Einsatz mit höheren Kosten verbunden.

Bild 2 zeigt einen Arbeitszyklus des Scherschlittenantriebes. Die Steuerung wurde für die erforderliche rotatorische Bewegung des Geschalteten Reluktanzmotors realisiert. Die Bandgeschwindigkeit liegt üblicherweise als Meßgröße vor. Sie wird für die Antriebssteuerung in eine Winkelgeschwindigkeit umgerechnet. Als weitere Meßgröße steht die Rotorposition zur Verfügung. Über einen Zustandsbeobachter wird die Motordrehzahl geschätzt. Die Ausgangsgröße des Drehzahlreglers ist das Sollmoment. Das Trägheitsmoment der angekuppelten Last beträgt 0,45 kgm² und entspricht damit etwa der fünffachen Motorträgheit. Als Lastmomente treten nur Reibmomente auf.

Ein Arbeitszyklus des Scherschlittenantriebes ist in fünf Zeitabschnitte unterteilt.

1. Warten in der Ausgangsposition: Abhängig von der Materialgeschwindigkeit und den gewünschten Stücklängen des geschnittenen Materials ergibt sich die Wartezeit oder Ruhezeit des Scherschlittens. Mit langsamerem Materialvorschub und großen Stücklängen wird die Wartezeit länger. Die minimale Zykluszeit ist mit dem Wegfall der Wartezeit erreicht. Es genügt, wenn der Antrieb nach dem Zurückfahren zur Ausgangsposition in eine hinreichend kleine Umgebung des Soll-Startpunktes gebracht wird und der Antrieb nahezu stillsteht. Bereits unter dieser Voraussetzung kann neu gestartet werden.

2. Beschleunigen: Aus der Messung der Materialgeschwindigkeit und dem Streckenmodell wird der Startzeitpunkt so errechnet, daß die Schlittengeschwindigkeit und die Schlittenposition nach einer Beschleunigungszeit von ca. 100 ms in der Drehmomentbegrenzung ungefähr mit der Materialgeschwindigkeit und der Schnittposition übereinstimmen. Ist diese Bedingung erfüllt, greift der Lageregler.

3. Einregelzeit auf die Schnittposition: Der Positionsregelung regelt die noch verbliebenen Abweichungen in ca. 60 ms aus.

4. Schneiden: In diesem Zeitabschnitt stimmen die Materialgeschwindigkeit mit der Schlittengeschwindigkeit und die vorgegebene Schnittlinie mit der Position des Schermessers überein. In dieser Zeit muß das Material geschnitten werden.

Die Auflösung des verwendeten Rotorlagegebers beträgt $0,1758^\circ$. Grund für eine noch erkennbare Lageabweichung ist die Diskretisierung der Rotorposition. Die Abweichung ist die Differenz aus der sich kontinuierlich zunehmenden Sollposition (Rampe) und der diskretisierten Rotorposition (Treppe). Daraus ergibt sich eine sägezahnförmige Abweichung. Sie liegt um die Auflösungsgrenze des Rotorpositionsgebers.

5. Lageregelung zum Ausgangspunkt: Nach Ende des Schneidvorganges fährt der Antrieb mit einer Lageregelung in ca. 430 ms in die Ausgangsposition zurück.

In Bild 2 ist die Diskretisierung der Rotorposition sehr deutlich zu erkennen. Der Regler kann erst reagieren, wenn sich die Lage um mindestens die Geberauflösung geändert hat. Die Positionsabweichung liegt innerhalb der Auflösungsgrenze des Rotorlagegebers.

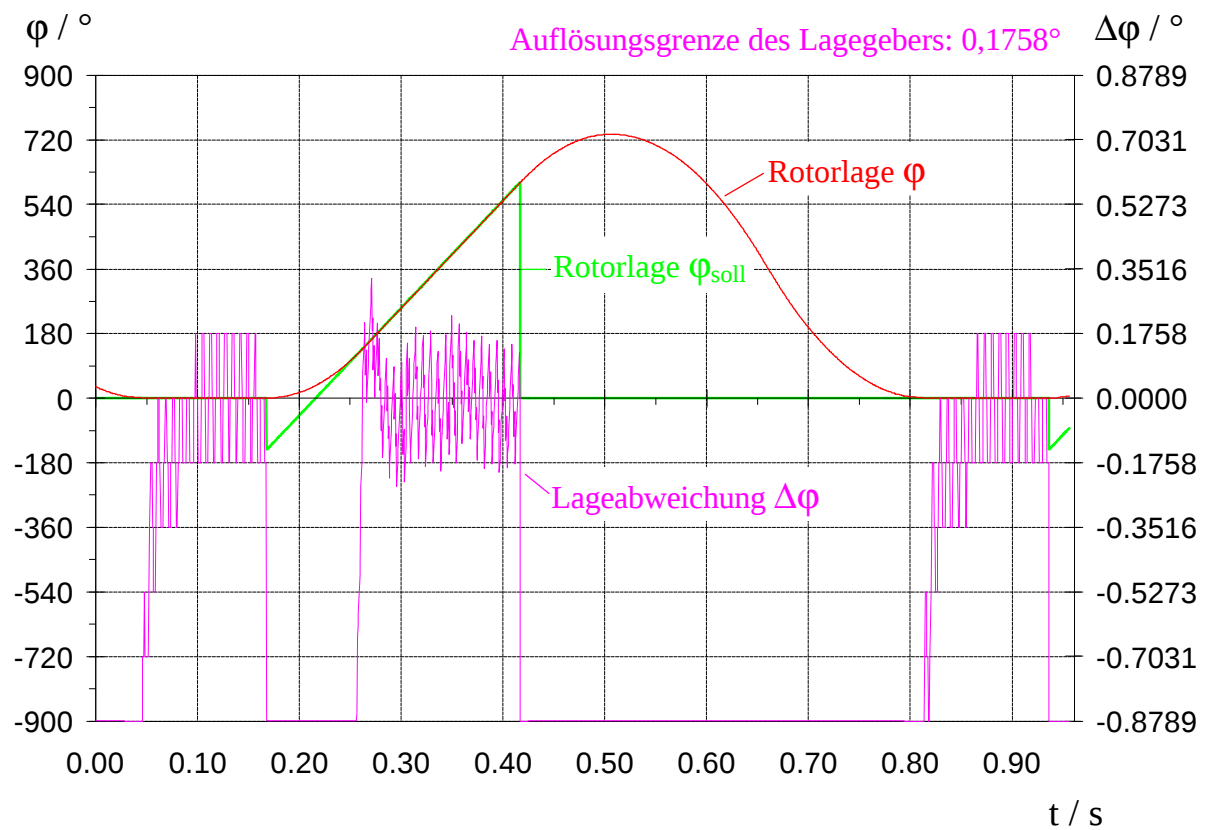
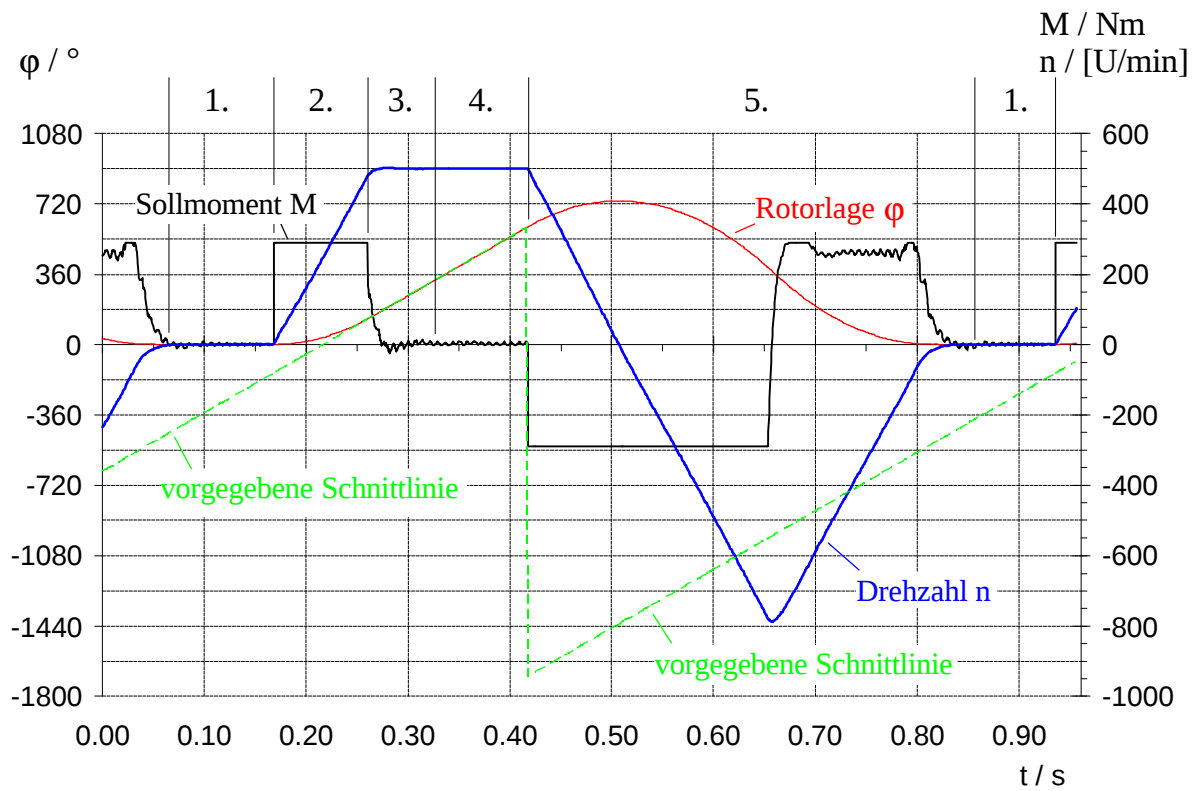


Bild 2: Arbeitszyklus des Scherschlittenantriebes (Messung)

Bei Werkzeugmaschinen ist es von Vorteil, wenn sich der Rotor des antreibenden Elektromotors nur geringfügig erwärmt. Somit werden thermisch bedingte Längenänderungen z.B. der angekuppelten Spindeln entsprechend reduziert.

Aufschluß über die Rotorerwärmung geben u.a. die Lagerübertemperaturen des Motors. Bei der in Bild 2 dargestellten Betriebsweise betrugen diese nach Erreichen des thermischen Beharrungszustandes (Dauerbetrieb) 9 K und 27,5 K. Der Temperaturunterschied ist durch die Kühlluftführung begründet. Die sehr geringe Lagererwärmung läßt auf eine ebenfalls nur geringe Läufererwärmung schließen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beweisen, daß sich die absolute Rotorlage des Geschalteten Reluktanzantriebes mit der Genauigkeit der Geberauflösung positionieren läßt. Die Auflösungsgrenze des verwendeten Rotorlagegebers betrug $0,1758^\circ$. Der Nachweis wurde für eine konstante Rotorsollposition und eine sich mit der Zeit kontinuierlich ändernde Sollposition erbracht. Das kleine Trägheitsmoment und das hohe zulässige Dauerdrehmoment machen den Geschalteten Reluktanzantrieb für dynamische Antriebsaufgaben interessant.

Literatur:

- [1] Wolff, J.; Späth, H.: Switched Reluctance Motor with 16 stator poles and 12 rotor teeth. Proceedings of the 7th European Conference on Power Electronics and Applications, Vol. 3, p. 558-563, Trondheim 1997
- [2] Wolff, J.: Drehzahlveränderbarer Industrieantrieb mit Geschaltetem Reluktanzmotor. Dissertation Universität Karlsruhe, 1999