



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Übersetzung der
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl. 7:
H 02 P 7/05

97 EP 0 780 966 B 1

10 DE 696 07 122 T 2

- 21 Deutsches Aktenzeichen: 696 07 122.3
- 96 Europäisches Aktenzeichen: 96 308 566.7
- 96 Europäischer Anmeldetag: 27. 11. 1996
- 97 Erstveröffentlichung durch das EPA: 25. 6. 1997
- 97 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: 15. 3. 2000
- 47 Veröffentlichungstag im Patentblatt: 14. 12. 2000

DE 696 07 122 T 2

30 Unionspriorität:

9525952 19. 12. 1995 GB

73 Patentinhaber:

Switched Reluctance Drives Ltd., Harrogate, North
Yorkshire, GB

74 Vertreter:

Herrmann-Trentepohl und Kollegen, 81476
München

84 Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, NL, SE

72 Erfinder:

Watkins, Stephen James, Leeds LS8 2RU, GB

54 Sensorlose Rotorlageüberwachung in einer Reluktanzmaschine

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 696 07 122 T 2

EP 96308566.7

Switched Reluctance Drives Limited

Diese Erfindung betrifft eine sensorlose Rotorpositionsüberwachung in Reluktanzmaschinen, insbesondere geschalteten Reluktanzmaschinen.

Die Leistung einer geschalteten Reluktanzmaschine hängt teilweise von der genauen Zeitabstimmung der Phasenerregung in Bezug auf die Rotorposition ab. Die Bestimmung der Rotorposition wird üblicherweise durch Verwendung eines Wandlers, wie einer sich drehenden gezahnten Scheibe, erzielt, die auf dem Maschinenrotor angeordnet ist und die mit einem optischen oder magnetischen Sensor, der auf dem Stator angeordnet ist, kooperiert. Eine Pulsfolge, die die Rotorposition relativ zu dem Stator anzeigt, wird an einen Steuerkreis zurückgegeben, der die genaue Phasenerregung ermöglicht.

Dieses System ist einfach und arbeitet in vielen Anwendungen gut. Der Rotorpositionswandler erhöht jedoch die Gesamtkosten der Baugruppe, verfügt über zusätzliche elektrische Verbindungen zur Maschine und ist deshalb eine potentielle Quelle der Unzuverlässigkeit. Eine Vielfalt von Verfahren für einen Verzicht auf den Rotorpositionswandler ist vorgeschlagen worden. Diese sind in „Sensorless Methods of Determining the Rotor Position of Switched Reluctance Motors“ von W. F. Ray und I. H. Al-Bahadly, veröffentlicht in Proceedings of the European Power Electronics Conference, Brighton, UK, 1993, Vol. 6, S. 7 bis 13 besprochen.

Viele Verfahren, die für die Rotorpositionsbestimmung vorgesehen sind, verwenden die Messung von der Phasenflußverkettung (d. h. das Integral der angelegten Spannung in Bezug auf die Zeit) und des Stroms in einer oder mehreren Phasen. Die Position wird unter Verwendung der Kenntnis der Variation der Induktivität der Maschine als eine Funktion von Winkel und Strom berechnet. Diese Charakteristik kann als eine Flußverkettung/Winkel/Strom-Tabelle gespeichert werden und ist graphisch in der Fig. 1 dargestellt. Die Speicherung dieser Daten involviert die Verwendung eines großen Speicherfeldes und/ oder Zusatzsysteme zur Interpolation der Daten zwischen den gespeicherten Punkten.

Einige Verfahren verwenden diese Daten bei niedrigen Geschwindigkeiten, wo Stromsteuerung durch „Zerhacken“ die dominierende Steuerungsstrategie zur Veränderung des entwickelten Drehmoments ist. Zerhack-Steuerung ist graphisch in Fig. 2 dargestellt, in welcher die Strom- und Induktivitäts-Wellenformen über eine Phaseninduktivitätsperiode gezeigt sind. Diese Verfahren verwenden üblicherweise diagnostische Erregungspulse in nicht drehmomenterzeugenden Phasen (d. h. jenen Phasen, die nicht direkt von der Stromversorgung bei einem bestimmten Zeitpunkt erregt werden).

Andere Verfahren werden in dem „Einzelpuls“-Modus der Erregung bei höheren Geschwindigkeiten betrieben. Dieser Modus ist in Fig. 3 dargestellt, in welcher die Strom- und Induktivitäts-Wellenformen über eine Phaseninduktivitätsperiode gezeigt sind. Diese Verfahren überwachen die Betriebsspannungen und Ströme einer aktiven Phase, ohne den normalen Betrieb zu stören.

Die Steuerung und der Betrieb der geschalteten Reluktanzmaschinen wird allgemein in der Arbeit „The Characteristics, Design and Applications of Switched Reluctance Motors and Drives“ von J. M. Stephenson und R. J. Blake, veröffentlicht bei der PCIM '93 Konferenz und Ausstellung, die in Nürnberg, Deutschland, zwischen 21. und 24. Juni 1993 abgehalten wurde, beschrieben. In dieser Arbeit sind die „Zerhack“- und „Einzelpuls“-Modi der Erregung von geschalteten Reluktanzmaschinen beschrieben.

Ein Verfahren, das für den Betrieb bei niedrigen Geschwindigkeiten geeignet ist, ist jenes, das von N. M. Mvungi und J. M. Stephenson in „Accurate Sensorless Rotor Position Detection in an SR Motor“, veröffentlicht in Proceedings of the European Power Electronics Conference, Florenz, Italien, 1991, Vol. 1, S. 390 bis 393, vorgeschlagen wurde. Ein typisches Verfahren für höhere Geschwindigkeiten ist in der internationalen Patentanmeldung WO 91/02401 beschrieben.

Das Erfordernis, ein zweidimensionales Feld von Maschinendaten zu speichern, ist ein offensichtlicher Nachteil und so sind alternative Verfahren vorgeschlagen worden, die die Notwendigkeit für die Mehrzahl von auf Winkel bezogenen Informationen vermeidet und stattdessen Daten bei nur einem Winkel speichert. Solch ein Verfahren ist in der europäischen Patentanmeldung EP-A 0573198 beschrieben. Dieses Verfahren zielt darauf, die Phasenflußverkettung und den Strom bei einem vorbestimmten Winkel durch Einstellung des diagnostischen Punktes über die kalkulierte Abweichung von dem gewünschten Punkt zu ermitteln. Zwei eindimensionale Tabellen werden in der bevorzugten Ausführungsform gespeichert, und zwar eine der Flußverkettung gegenüber dem Strom bei einem bezeichneten Rotorwinkel (siehe Fig. 4) und eine andere des Differentials der Flußverkettung in Bezug auf den Rotorwinkel gegen den Strom. Durch Überwachung der Phasenspannung und des Stroms kann die Abweichung weg von dem vorbestimmten Winkel mit Hilfe von Nachschlagetabellen bestimmt werden, und der Systembetrieb kann entsprechend eingestellt werden. Solche Verfahren müssen jedoch, obwohl sie die Menge an Information, die gespeichert werden muß, reduzieren, immer noch die Flußverkettung bei einem spezifischen Rotorwinkel bestimmen oder berechnen.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen allgemein anwendbaren Weg zur Bestimmung der Rotorposition bereitzustellen, und zwar ohne Verwendung eines Rotorpositionswandlers, wobei gleichzeitig die Menge an gespeicherten Daten reduziert werden soll.

Die vorliegende Erfindung wird in den beigefügten unabhängigen Ansprüchen 1, 10 und 13 definiert. Bevorzugte Merkmale sind in den abhängigen Ansprüchen wiedergegeben.

Die Erfindung verwendet den Phasenstromfreilauf über einem Bereich der Winkelbewegung des Rotors, währenddessen die Änderungsrate des Stroms überwacht wird. Diese Überwachung kann in irgendeinem Teil des Phaseninduktionskreises ausgeführt werden. Ein besonders vorteilhaftes Intervall ist jedoch bei oder in der Nähe der Position, bei der der Rotor und die Statorpole vollständig ausgerichtet sind.

Der Fachmann wird sich bewußt sein, daß der Phaseninduktivitätskreis die Periode der Variation der Induktivität für die oder jede Phase einer geschalteten Reluktanzmaschine ist, beispielsweise zwischen den Maxima, wenn die Rotorpole und die relevanten jeweiligen Statorpole vollständig ausgerichtet sind.

Dem Fachmann wird das Konzept des Freilaufs in einer geschalteten Reluktanzmaschine bewußt sein. Es ist in der PCIM '93 Arbeit von Stephenson and Blake, auf die oben verwiesen wurde, beschrieben. Kurz gesagt ist Freilauf, wenn die Spannung über eine Phasenwicklung einer geschalteten Reluktanzmaschine für eine Zeitperiode durch das wirksame Bereitstellen eines Kurzschlußpfades über die Enden der Wicklung auf 0 gesetzt wird. Der Strom zirkuliert um die Wicklung und der Fluß ist im Grunde genommen konstant, da die einzige Spannung, die vorhanden ist, um dies zu ändern, der Spannungsabfall über die Wicklung und die schaltenden Vorrichtungen ist. Das Konzept des Freilaufs sollte nicht mit dem Auslauf verwechselt werden, bei welchem kein Strom in den Wicklungen vorliegt und die Drehung des Rotors nur auf seinem eigenen Drehmoment beruht.

Die vorliegende Erfindung kann in verschiedener Weise in der Praxis umgesetzt werden, wobei einige davon nun beispielhaft mit Bezug auf die beigelegten Zeichnungen beschrieben werden, wobei

Fig. 1 eine graphische Darstellung der zweidimensional gespeicherten Tabelle von Flußverkettung/Winkel/Strom-Daten ist, die bei bekannten Stromüberwachungssystemen verwendet wird;

Fig. 2 eine typische Wellenform des zerhackten Stroms im Niedergeschwindigkeitsmodus zeigt, die dem Phaseninduktivitätsprofil überlagert ist;

Fig. 3 eine typische Einzelpuls-Strom-Wellenform im Hochgeschwindigkeitsmodus zeigt die dem Phaseninduktivitätsprofil überlagert ist;

- Fig. 4 ein Diagramm einer einzelnen Dimension von gespeicherten Daten gemäß einem anderen bekannten System ist;
- Fig. 5 einen asymmetrischen Halbbrücken-Schaltkreis für eine Phase einer geschalteten Reluktanzmaschine zeigt;
- Fig. 6 eine typische Variation der Stromänderung in Bezug auf den Rotorwinkel für eine festgelegte Freilaufperiode zur Veränderung der Flußverkettungszustände zeigt;
- Fig. 7 eine Periode von 2° des Freilaufs für eine geschaltete Reluktanzmaschine um die Position einer vollen Ausrichtung eines Rotorpols in Bezug auf einen Statorpol darstellt, sowie die resultierende Veränderung der Flußverkettung und des Stroms;
- Fig. 8 ein schematisches Diagramm zeigt, das einen Steuerkreis darstellt, der die vorliegende Erfindung verkörpert; und wobei
- Fig. 9 ein schematisches Diagramm eines weiteren Details eines Steuersystems zeigt, das die vorliegende Erfindung verkörpert.

In einer geschalteten Reluktanzmaschine kann die Beziehung zwischen Flußverkettung ψ und Strom i durch die Gleichung

$$\psi = i \cdot L \quad \dots (1)$$

ausgedrückt werden, wobei die Induktivität L eine Funktion des Winkels θ und des Stroms i ist.

Durch Differenzierung der Gleichung (1) in Bezug auf θ wird die nachfolgende Beziehung erhalten

$$\frac{d\psi}{d\theta} = \frac{di}{d\theta} \cdot L + \frac{dL}{d\theta} \cdot i \quad \dots (2)$$

Die Gleichung (2) kann umgeordnet werden, so daß folgende Gleichung erhalten wird:

$$\frac{di}{d\theta} = \frac{1}{L} \cdot \left[\frac{d\psi}{d\theta} - \frac{dL}{d\theta} \cdot i \right] \quad \dots (3)$$

Im Freilaufmodus wird die Spannung über die Phasenwicklung niedrig sein und

$$\frac{d\psi}{d\theta} \approx 0 \text{ sein,}$$

so daß die Gleichung (3) angenähert werden kann an die Gleichung

$$\frac{di}{d\theta} \approx - \frac{dL}{d\theta} \cdot \frac{i}{L} \quad \dots (4)$$

Für einen festen kleinen Winkel $\Delta\theta$ ist die folgende Beziehung anwendbar:

$$\Delta i \propto - \Delta L \quad \dots (5)$$

wobei die Proportionalitätskonstante gleich $\frac{i}{L}$ ist.

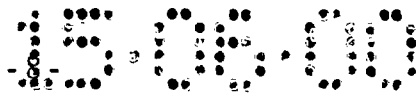
Es folgt aus der Gleichung (5), daß, falls die Stromänderung (Δi) mit geeigneter Genauigkeit gemessen werden kann, dies einen Hinweis auf die Induktivitätsänderung der Phase während des Meßintervalls gibt. Falls die Beziehung zwischen der Änderungsrate der Induktivität und der Rotorposition bereits bekannt ist, ermöglicht dies eine Berechnung der

Rotorposition, die aus der Messung von Δi zu machen ist. Das einfachste Verfahren, um dies zu verwirklichen, ist es, eine Nachschlagetabelle von ΔL gegenüber der Rotorposition zu verwenden. Da jedoch im allgemeinen die Induktivität stromabhängig ist, erfordert dies eine Tabelle von ΔL als Funktion des Stroms.

Gemäß der Erfindung in ihrer bevorzugten Form wird Gebrauch von der Tatsache gemacht, daß bei der voll ausgerichteten Position eines Rotorpols in Bezug auf einen Statorpol die Änderungsrate der Induktivität mit dem Winkel unabhängig von dem Niveau des Phasenstroms im wesentlichen 0 ist. Somit wird gemäß der Gleichung (5) die Änderungsrate des Phasenstroms gleich 0 werden, wenn die Freilaufperiode um die Position der vollständigen Ausrichtung angeordnet wird. Es folgt daraus, daß, falls während des Überwachungsintervalls $\Delta i = 0$ ermittelt wird, die Rotorposition um die ausgerichtete Position während des Meßintervalls zentriert war. Dies ermöglicht den Betrieb der Maschine durch die Vorhersage, wann der Rotor durch die ausgerichtete Position hindurchtreten wird, sowie den Freilauf um dieses Intervall herum. Falls die Vorhersage korrekt ist, dann wird Δi während der Freilaufperiode 0 sein. Falls jedoch in der Vorhersage ein Winkelfehler existiert, dann wird das Vorzeichen und die Größe der Änderungsrate des Stroms den Winkelfehler und seine Richtung und somit die für den nächsten Zyklus erforderliche Korrektur anzeigen.

In der Praxis existiert eine endliche Reduzierung in der Flußverkettung ψ über das Intervall und somit wird die Position, bei welcher keine Änderung im Strom auftritt, leicht von der voll ausgerichteten Position versetzt sein. Dies kann aus der Gleichung (3) bestimmt werden und ist graphisch durch den Satz von Kurven in Fig. 6 für einen typischen geschalteten Reluktanzmotor gezeigt. In der Grafik ist die tatsächliche Position der Änderungsrate des Stroms = 0 bei ungefähr $2 \frac{1}{2}^\circ$ vor der voll ausgerichteten Position des Rotors in Bezug auf den Statorpol.

Fig. 5 zeigt einen konventionellen, asymmetrischen Halbbrückenwandlerkreis für eine geschaltete Reluktanzmaschine. Eine Phasenwicklung W ist seriell zwischen einem oberen Leistungsschalter S_1 und einer Diode D_1 verbunden. Dieselbe Wicklung W ist in ähnlicher Weise seriell zwischen einem unteren Leistungsschalter S_2 und seiner Diode D_2 verbunden.



Mittels des Beispiels des oben bezeichneten Freilaufs kann, wenn die Schaltung aus Fig. 5 verwendet wird, der Strom, der als eine Konsequenz des Schließens der Schalter S1 und S2 durch die Wicklung W fließt, durch Öffnen von S1 dazu gebracht werden, um die Schleife von S2 und D2 freizulaufen.

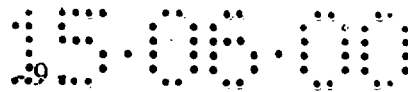
Das Verfahren der Erfindung wird in keinem wesentlichen Ausmaß den Betrieb der Maschine stören, da das erforderliche Überwachungsintervall kurz ist. Auf jeden Fall ist es vorteilhaft, eine Freilaufperiode bei den meisten bekannten geschalteten Reluktanzmaschinen zu haben, und zwar aus Gründen, die mit der Lärmkontrolle und der optimalen Effizienz des Betriebs zusammenhängen.

Es folgt, daß diese Erfindung sowohl im Zerhack- oder Einzelpuls-Betriebsmodus verwirklicht werden kann, wo es möglich ist, ein Freilaufintervall zu verwenden. Die Erfindung könnte genauso gut in einem Betriebsmodus mit kontinuierlichem Strom für eine geschaltete Reluktanzmaschine verwendet werden, wie es in der EP-A-0534761 beschrieben ist.

Das Verfahren der Erfindung liefert Zeitanpassungsinformation, die ähnlich zu der von Standardrotorpositionswandlern ist, d. h. eine Anzeige der Rotor-/Statorausrichtung ist einmal pro Phaseninduktivitätszyklus verfügbar.

Fig. 7 illustriert die Wirkung auf die Flußverkettung und den Strom einer 2°-Freilaufperiode, die benachbart der voll ausgerichteten Position in einem typischen geschalteten Reluktanzantrieb vorgesehen ist. Wie zu sehen ist, verbleiben sowohl Strom als auch Fluß für die Dauer des Freilaufintervalls im wesentlichen konstant, welches in diesem Fall zwischen 88° und 90° liegt, wobei 90° die Ausrichtung zwischen dem Rotor und Statorpol anzeigt.

Fig. 8 zeigt ein Antriebssystem für einen geschalteten Reluktanzmotor. Das System ist in einem schematischen Blockdiagramm gezeigt. In dieser Ausführungsform empfängt die Geschwindigkeitssteuerung 10 ein Geschwindigkeitsanforderungssignal. Dieses wird mit einem Rückkopplungssignal an der Leitung 12, welche nachfolgend beschrieben wird,



verglichen. Die Ausgabe der Geschwindigkeitssteuerung 10 ist ein Vergleich der geforderten und der tatsächlichen Geschwindigkeitssignale (d. h. ein Fehlersignal) und wird als die betätigende Eingabe einer Auslösesteuerung 14 zugeführt.

Wie oben beschrieben, gibt es verschiedene Betriebsarten für eine geschaltete Reluktanzmaschine. In jedem Betriebsmodus kann ein Überwachungsintervall eingeführt werden, währenddessen Strom-Freilauf ermöglicht wird.

Die Ausgabe der Geschwindigkeitssteuerung 10 ist das Anforderungssignal für den Auslösesteuerschalter 14, der, insoweit er die Betätigung der Schalter eines Leistungswandlers 16 gemäß der Anforderung und dem Modus der Steuerung für die Geschwindigkeit des Motors steuert, konventionell in seiner Art ist. Die Geschwindigkeits- und Auslösesteuerungen 10 und 14 können gemäß bekannter Technik um einen Motorola 68HC11-Mikrocontroller verwirklicht werden. Die Ausgabe der Auslösesteuerung 14 wird gemäß der Erfindung so modifiziert, daß sie in jedem Induktivitätsphasenzyklus die regulären Überwachungsbefehle für die Schalter des Wandlers 16 beinhaltet.

Die Ausgabe der Auslösesteuerung wird verwendet, um die Betätigung der Schalter des Leistungswandlers 16 zu steuern, welcher von der Art sein kann, die in Fig. 5 gezeigt ist, und zwar für jede Phase der Maschine.

Die Phasenstromabtastung wird mittels eines konventionellen Stromsensors 20, beispielsweise eines flußlosen Sensors, wie er z. B. durch LEM HEME Ltd. aus Skelmersdale, Lancashire, UK, hergestellt wird, oder durch Messung der Spannung, die über eine Widerstandsreihe abfällt, ausgeführt. Bei dieser Erfindung ist es der Freilaufstrom, der durch den Sensor überwacht werden muß. Somit muß der Sensor an einem geeigneten Ort plziert werden, wo der Freilaufstrom in einer zuverlässigen und zugänglichen Weise vorliegt, z. B. an jedem Ende der Wicklung W. Alternativ könnte der Strom auch an der Diode D2 oder dem Schalter S2, der im Freilaufbetrieb verwendet wird, überwacht werden. Die Position am oder nahe des Schalters S2 wird bevorzugt, da er gewöhnlicherweise in der praktischen Ausführung von geschalteten Reluktanzmaschinen eher zugänglich ist.

Falls es jedoch erforderlich ist (aus anderen Steuerungsgründen), den zurückfließenden Strom zu veranlassen, in der anderen Hälfte des Halbbrückenwandlers der Fig. 5 zu fließen, muß der Sensor benachbart der Phasenwicklung W angeordnet werden.

Wird dagegen der Strom in der Phasenwicklung überwacht, muß die Änderungsrate des Stroms über eine Zeitdauer für eine aussagefähige Angabe der Rotorposition gemessen werden. Die Ausgabe des Sensors 20, die die Größe des Stroms anzeigt, wird an einen Stromwechseldetektor 22 angelegt. Dieser wird vorzugsweise in dem Mikroprozessor verwirklicht, welcher verwendet wird, um die Geschwindigkeitssteuerung und die Auslösesteuerungsfunktionen, die oben beschrieben wurden, zu realisieren. Bei der Ausführung würde im Prinzip ein erster Stromwert, nachdem der Freilauf begonnen hat, gespeichert, sowie ein zweiter Wert des Stroms nahe des Endes des Freilaufintervalls. Die Stromänderungsrate wird dann durch die Differenz jener Stromwerte und Teilung dieser Differenz durch das Differenzzeitintervall berechnet. In der Praxis mag es vorteilhaft sein, den ersten Wert unmittelbar bevor der Freilauf beginnt zu nehmen, um so jegliche Übergangsstörungen im Stromwert, die durch die Schaltbetätigung verursacht werden, zu vermeiden. Die Ausgabe des Detektors 22 ist eine Spannung, die die Stromänderungsrate in Bezug auf die Zeit über das überwachte Intervall anzeigt. Dies ist die Basis der Anzeige der Rotorposition relativ zum Stator. Falls die vorhergehende Vorhersage der Rotorposition korrekt war, wird die Ausgabe des Detektors im wesentlichen keine Stromänderung während des Überwachungsintervalls anzeigen.

Die Ausgabe eines Detektors 22 wird an eine Zeitgebervorhersageeinrichtung 24 angelegt, die auf die tatsächliche Stromänderungsrate, die von dem überbrachten Strom erhalten wird, reagiert. Für eine gegebene Geschwindigkeit kann die Zeitgebervorhersageeinrichtung 24 den Moment der Ausrichtung für die nächste Phase der Maschine vorhersagen, d. h. aus einer korrigierten Abschätzung der Rotorposition in einer Phase wird durch die Vorhersageeinrichtung eine Vorhersage für das nächste Auftreten der 0-Stromänderung in der nächsten zu erregenden Phase gemacht.

Die Auslösesteuerung 16 beinhaltet einen freilaufenden Zeitgeber, der verwendet wird, um die Winkelposition der schaltungsauslösenden Ereignisse festzusetzen. Durch Ableitung der

Information von den Rotorpositionsdaten wird der Zeitgeber für jede Phase gemäß der Auslösesteuerstrategie, welche Teil der bekannten Prinzipien einer geschalteten Reluktanzmotorsteuerung ist, zurückgesetzt. Für eine gegebene Geschwindigkeit macht die Zeitgebervorhersageeinrichtung 24 eine Vorhersage der Zeit, an welcher der Rotor mit dem Stator ausgerichtet sein wird. Es wird möglich sein, die Zeiten festzulegen, während derer der Leistungswandler in den Freilaufmodus versetzt werden soll, wobei diese Zeiten so ausgewählt werden, daß das Überwachungsintervall um den vorhergesagten Punkt der Ausrichtung zentriert wird. Wenn der Start des Überwachungsintervalls beginnt, betätigt die Auslösesteuerung 14 den Stromwechselfetektor 22, um die Ausgabe des Sensors 20 zu lesen und die Stromwechselrate in dem Freilaufmodus wird dann für das Überwachungsintervall berechnet. Am Ende des überlagerten Freilaufintervalls nimmt die Auslösesteuerung wieder die konventionelle Steuerung des Motors, basierend auf der Geschwindigkeitsanforderung und dem Fehlersignal, auf.

Falls die Stromwechselrate, die durch den Detektor 22 abgeschätzt wird, im wesentlichen 0 ist, besteht für die Zeitgebervorhersageeinrichtung keine Notwendigkeit, seine weiteren Abschätzungen der ausgerichteten Position für jede Phase anzupassen. Falls der Detektor eine Stromwechselrate mit negativer Steigung und eine bestimmte Größe anzeigt, so war die vorhergesagte Ausrichtungsposition zu früh, und zwar um eine Größe, die der Größe der Stromwechselrate entspricht. Falls die Neigung positiv ist, war die vorhergesagte Ausrichtungsposition zu spät. Die Änderung im Stromwechsel um 0 kann deshalb als eine simple lineare Skale zur Korrektur der Abschätzung der Zeit, an welcher die Ausrichtung stattfinden wird, verwendet werden.

Für den erfolgreichen Betrieb erfordert diese Methode, daß sich die Maschine dreht und mindestens in einer Phasenwicklung Strom aufweist. Bei Stillstand kann dieses Verfahren nicht direkt angewandt werden, aber es können andere bekannte Verfahren des Startens der Maschine verwendet werden, z. B. rückführlose Schrittechnik, diagnostische Pulse usw., wie sie all denen, die mit dieser Technik vertraut sind, bekannt sind.

Fig. 9 zeigt eine alternative Ausführung des Stromwechselfetektors 22, der analoge Komponenten verwendet, die Auslösesteuerung 14 sowie die Hälfte des Leistungswandlers

16, die für den Freilauf verwendet wird, und durch die Schalter S2 und die Diode D2 gebildet wird. Bei dieser Ausführungsform wird der Freilaufstrom von der Spannung, die über einen kleinen Widerstand 28, z. B. < 10 Ohm, in Serie mit der Freilaufschaltung abfällt, abgeleitet. Die Spannung über dem Widerstand ist direkt proportional zu dem Strom in der Wicklung und wird durch erste und zweite Abtast- und Halteschaltkreise 30 und 32, die die Ausgänge einem Summenpunkt 34 bereitstellen, überwacht. Der Unterschied zwischen den Abtast- und Halteausgaben wird in einem Festwertmultiplikator 36 skaliert und der Zeitgebervorhersageeinrichtung 24 zugeführt. Der erste Abtast- und Halteschaltkreis wird durch die Zeitgebervorhersageeinrichtung 24 am Beginn des gewählten Freilaufintervalls betätigt. Der zweite Abtast- und Haltekreislauf wird am Ende des Überwachungsintervalls betätigt.

Die obigen Beispiele beziehen sich auf den Betrieb der Erfindung, wenn die geschaltete Reluktanzmaschine angeordnet ist, um als ein Motor betrieben zu werden. Die vorliegende Erfindung kann ebenfalls in der gleichen Weise verwendet werden, wenn die geschaltete Reluktanzmaschine als ein Generator betrieben wird, und zwar mit dem gleichen Effekt. Obwohl natürlich diese Erfindung in Bezug auf eine drehende geschaltete Reluktanzmaschine beschrieben ist, wird der Fachmann erkennen, daß eine geschaltete Reluktanzmaschine auch als ein Linearmotor konstruiert werden kann. Das bewegliche Element eines Linearmotors wird in diesem Zusammenhang als Rotor bezeichnet. Die Bezeichnung „Rotor“, die hier verwendet wird, wird somit auch so betrachtet, daß es das bewegliche Element eines Linearmotors einschließt.

Entsprechend wird, obwohl die Erfindung im Zusammenhang mit den illustrierten Ausführungsformen, die oben diskutiert wurden, beschrieben worden ist, der Fachmann erkennen, daß viele Abänderungen gemacht werden können, ohne den Bereich der vorliegende Erfindung zu verlassen. Die obige Beschreibung von einigen Ausführungsformen ist nur beispielhaft und nicht zum Zwecke der Einschränkung gemacht worden. Die vorliegende Erfindung wird nur durch den Bereich der nachfolgenden Ansprüche eingeschränkt angesehen.

EP 96308566.7
Switched Reluctance Drives Ltd.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Rotorposition in einer Reluktanzmaschine, die einen Stator, einen Rotor, der relativ zu dem Stator beweglich ist, und wenigstens eine Phasenwicklung, die auf dem Stator angeordnet ist, umfasst, wobei das Verfahren umfasst:
 - Bewegen des Rotors relativ zu dem Stator;
 - Erregen der Phasenwicklung durch Betätigen einer Schalteinrichtung, um den Strom in der Wicklung zu steuern;
 - Freilauf in jedem Phaseninduktionszyklus, so dass Strom in der Wicklung für ein Intervall mit einem Schätzwert einer vorbestimmten Position des Rotors, bei dem die Veränderungsrate des Phasenstroms eine vorhergesagte Größe aufweist, umläuft;
 - Überwachen des Phasenstroms während des Freilaufens;
 - Vergleichen der überwachten Veränderungsrate des Phasenstroms mit der vorhergesagten bei der vorbestimmten Position; und
 - Herleiten der Position des Rotors relativ zu der vorbestimmten Position aus der Differenz zwischen den tatsächlichen und vorbestimmten Veränderungsrate des Phasenstroms.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem das Intervall mit einer Periode von im wesentlichen keinem Wechsel des Stroms übereinstimmt, wenn sich der Rotor bewegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, welches das Abtasten des Stromes bei oder nahe bei Beginn des und am oder nahe am Ende des Freilauf-Intervalls umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 3, das die Berechnung der Veränderungsrate des Stromes aus der Veränderung des Stromes über die Abtastperiode umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei welchem die Ausdehnung des Intervalls umgekehrt abhängig ist von der Geschwindigkeit der Bewegung des Rotors.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei welchen die Differenz zwischen den tatsächlichen und vorhergesagten Veränderungsraten des Stromes verwendet wird, um den Schätzwert für einen nachfolgenden Phasenzyklus zu modifizieren.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei welchem die Maschine eine Mehr-Phasen- Maschine ist, die eine Phasenerregungssequenz aufweist, wobei die Differenz zwischen den tatsächlichen und vorhergesagten Raten verwendet wird, um den Schätzwert für die nächste Phase in der Sequenz zu modifizieren.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, welches das Überwachen des Freilaufstroms an der Schalteinrichtung umfasst, die den Freilaufstrom überträgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, welches das Überwachen des Freilaufstromes an der Phasenwicklung umfasst.
10. Rotor Positions-Anzeigeeinrichtung für eine Reluktanzmaschine mit einem Rotor, einem Stator und wenigstens einer Phasenwicklung, wobei die Anzeigevorrichtung umfasst:
 - Eine Stromüberwachungsvorrichtung (22) zum Herleiten eines Signals, das den Phasenstrom in der Phasenwicklung anzeigt;
 - Eine Schaltvorrichtung (S1, S2), die betätigbar ist, um einen Freilaufkreis zu konfigurieren, in welchem der Strom durch die Wicklung umläuft;
 - Eine Zeitgebereinrichtung (24) zum Betätigen der Schaltvorrichtung, um den Freilaufkreis zu konfigurieren, und zwar für ein Intervall, das mit einem vorhergesagten Bereich der Rotorposition übereinstimmt, und zum Abtasten (30, 32) des Phasenstroms, um die Veränderungsrate des Stroms in dem Intervall zu messen;

- Eine Komparatoreinrichtung (34) zum Vergleichen der vorhergesagten Veränderungsrate des Phasenstroms mit der gemessenen Veränderungsrate, um einen Differenzwert herzuleiten, der die Differenz zwischen der tatsächlichen Rotorposition und der vorhergesagten Rotorposition anzeigt.
11. Anzeigevorrichtung nach Anspruch 10, bei welcher die Zeitgebereinrichtung auf ein Signal reagiert, das die Geschwindigkeit der Rotorbewegung anzeigt, um die Periode im inversen Verhältnis dazu zu variieren.
 12. Anzeigevorrichtung nach Anspruch 11, bei welcher die Zeitgebereinrichtung auf den Differenzwert reagiert, um das Betätigen der Schalteinrichtung in einem nachfolgenden Phasenzyklus anzupassen.
 13. System zum Überwachen der Rotorposition in einer Reluktanzmaschine, umfassend einen Rotor, einen Stator, wenigstens eine Phasenwicklung, eine Schalteinrichtung (S1, S2), die betätigbar ist, um die Phasenwicklung in einem Freilaufkreis zu konfigurieren, in welchem ein Freilaufstrom in der Wicklung umläuft, eine Stromüberwachungsvorrichtung (22) zum Herleiten eines Signals, das den Freilaufstrom anzeigt, eine Zeitgebereinrichtung (24) zum Betätigen der Schaltvorrichtung in die Freilaufkonfiguration für ein Intervall bei einem Schätzwert der vorhergesagten Rotorposition, bei welcher die Veränderungsrate des Stroms einen vorhergesagten Wert aufweist, eine Einrichtung zum Herleiten einer Messung der Veränderungsrate des Stroms von der Überwachungseinrichtung in dem Intervall, und einer Einrichtung zum Berechnen der Rotorposition relativ zu der vorbestimmten Position aus einem Vergleich der tatsächlichen und vorhergesagten Veränderungsrate des Stroms.
 14. System nach Anspruch 13, bei welchem das Intervall angeordnet ist, um mit einer Periode von im wesentlichen keiner Veränderung im Strom übereinzustimmen.
 15. System nach Anspruch 13 oder 14, bei welchem die Einrichtung zum Herleiten einer Messung der Veränderungsrate des Stroms eine Abtasteinrichtung zum Abtasten (30, 32) des Stroms bei oder nahe bei Beginn und am oder nahe am Ende des Intervalls umfasst.

16. System nach einem der Ansprüche 13 bis 15, bei welchem die Zeitgebereinrichtung (24) betrieben werden kann, um den Schätzwert für einen nachfolgenden Phasenzyklus in Antwort auf die Differenz zwischen den tatsächlichen und vorhergesagten Veränderungsraten des Stromes zu modifizieren.
17. System nach Anspruch 16, bei welchem die Maschine eine Mehr-Phasen- Maschine ist, die eine Phasensequenz aufweist, bei welcher die Zeitgebereinrichtung (24) betrieben werden kann, um den Schätzwert für die nächste Phase in der Sequenz in Antwort auf die Differenz zwischen den tatsächlichen und vorhergesagten Raten zu modifizieren.

15.08.00

- 17 -

EP 96308566.7
Switched Reluctance Drives Limited

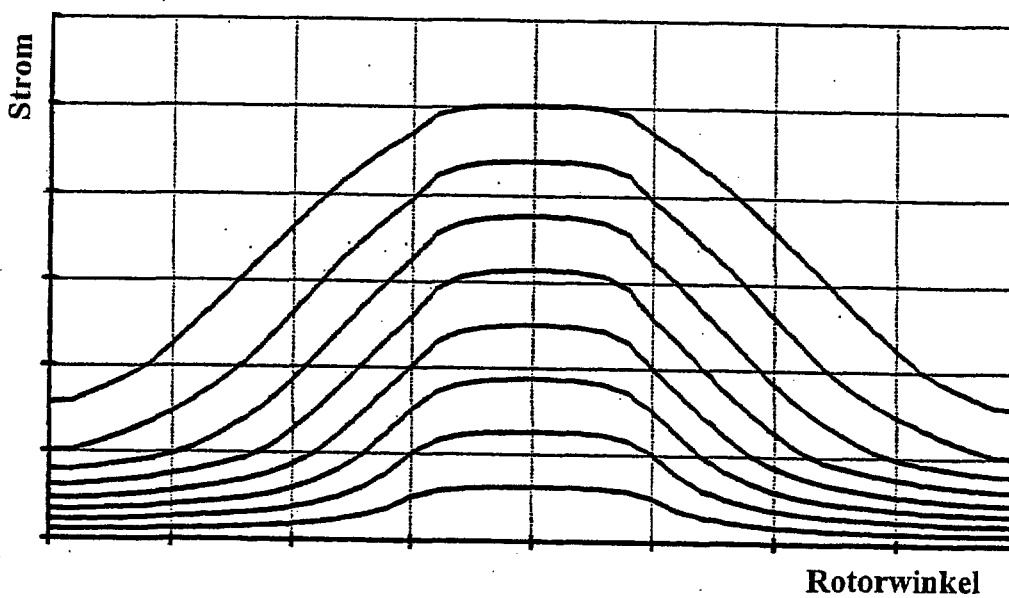


Fig. 1

Stand der Technik

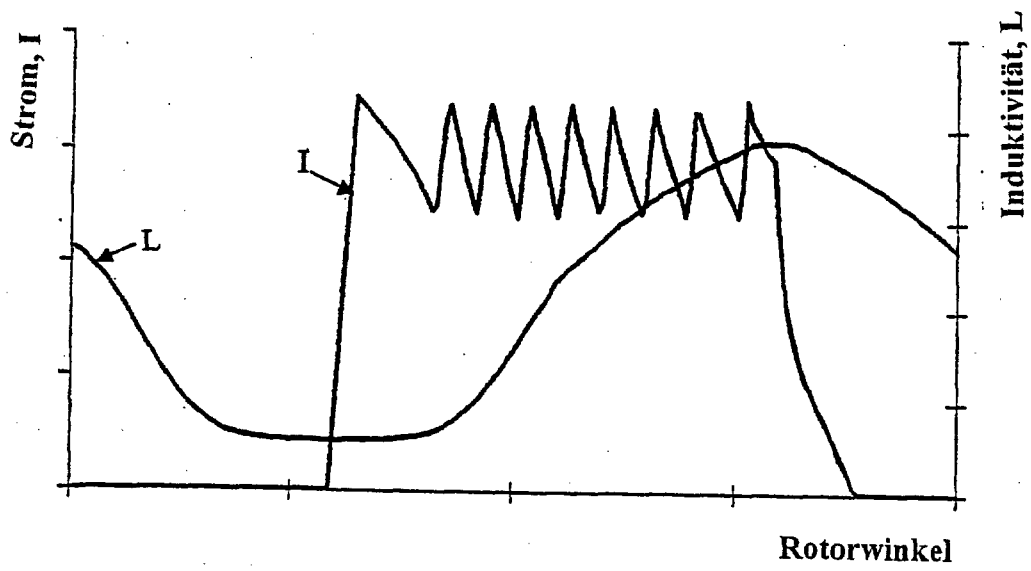


Fig. 2

Stand der Technik

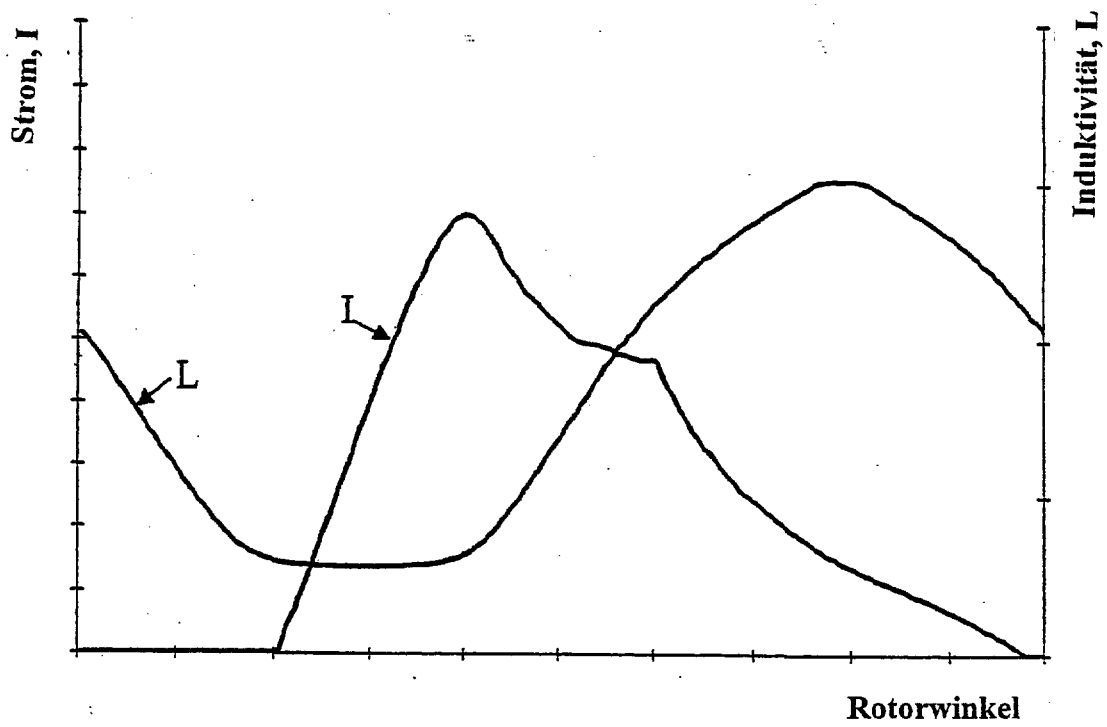


Fig.3

Stand der Technik

15.05.00

- 20 -

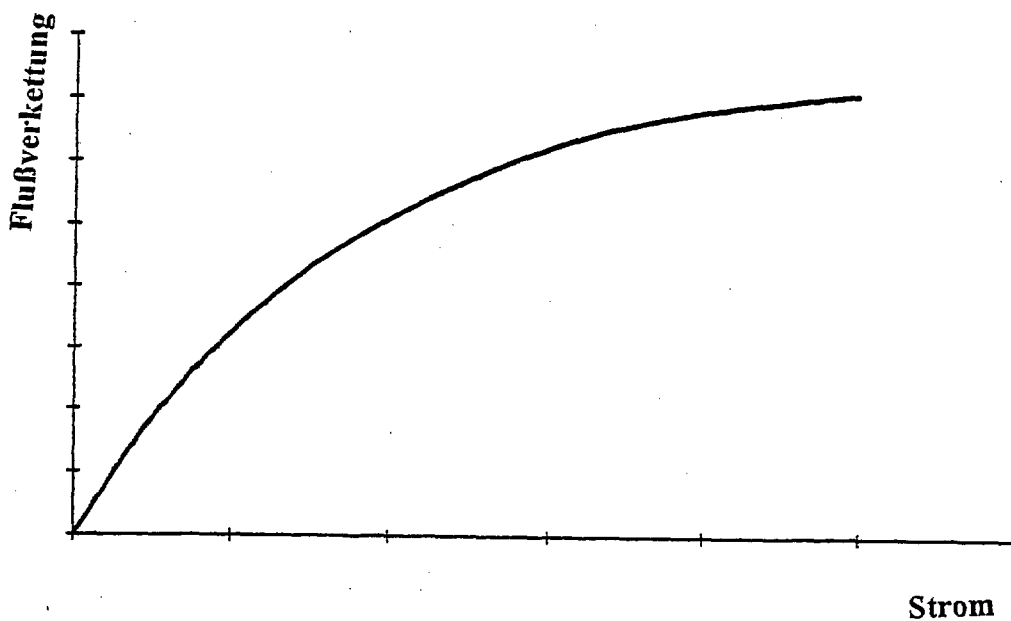


Fig. 4

Stand der Technik

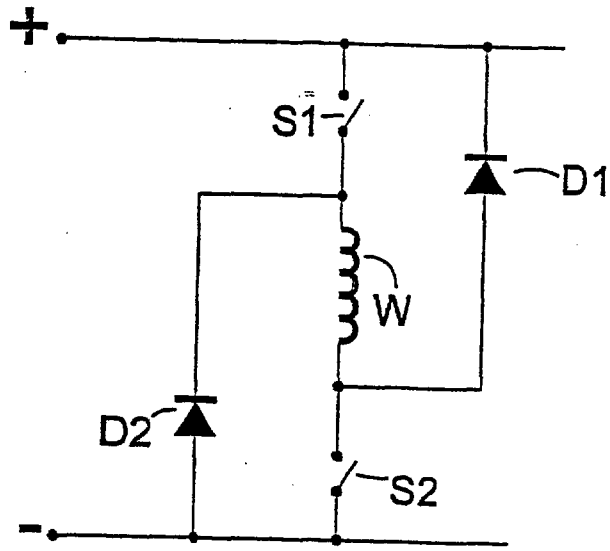


FIG 5

Stand der Technik

15.05.00

- 22 -

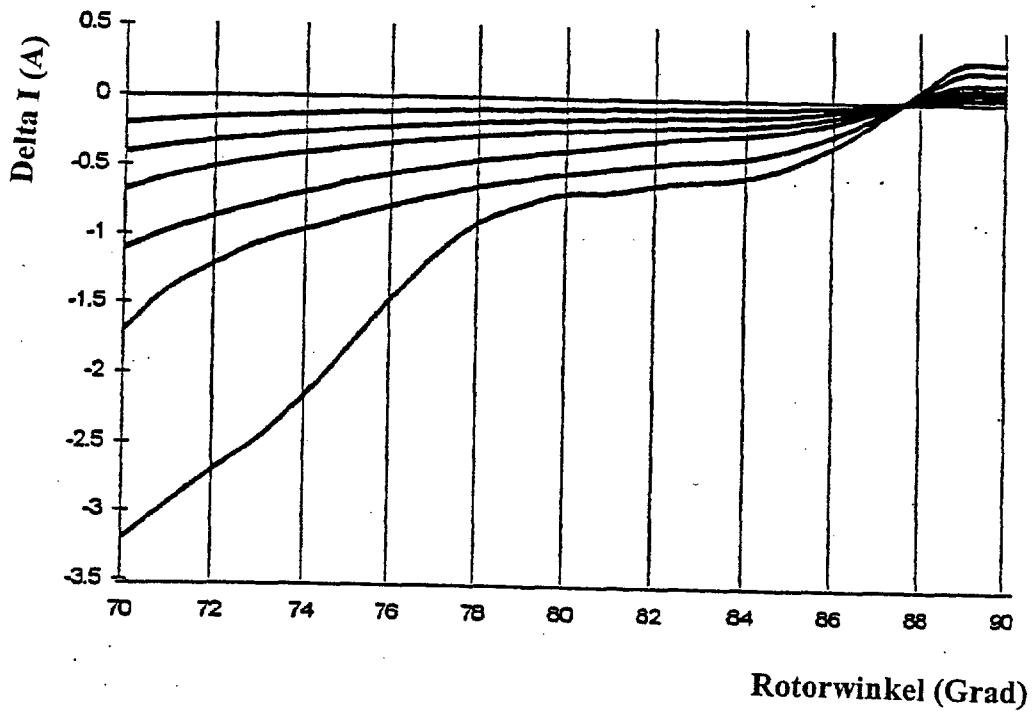


Fig. 6

Stand der Technik

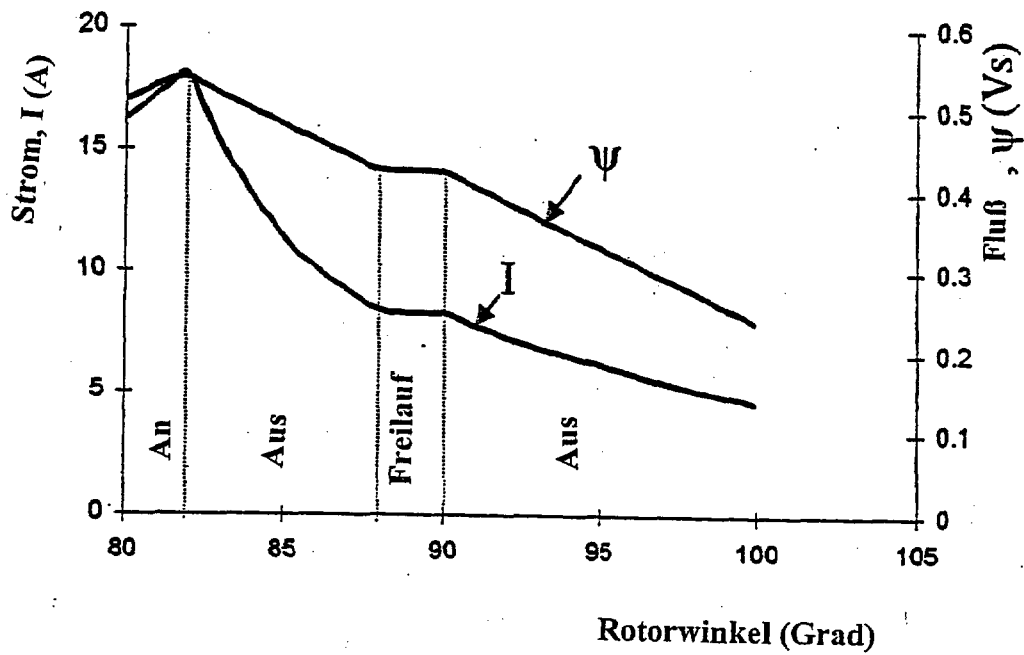


Fig. 7

Stand der Technik

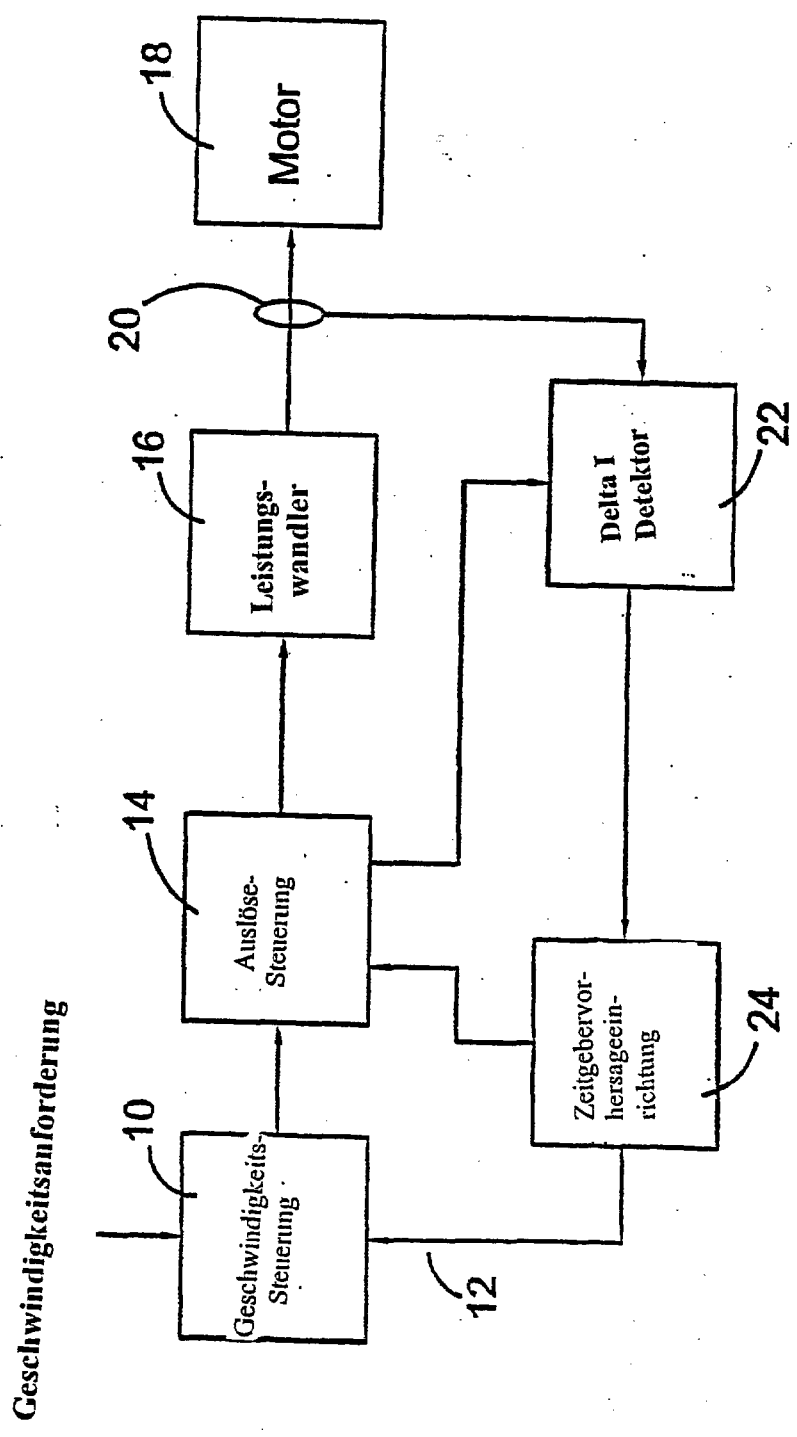


Fig 8

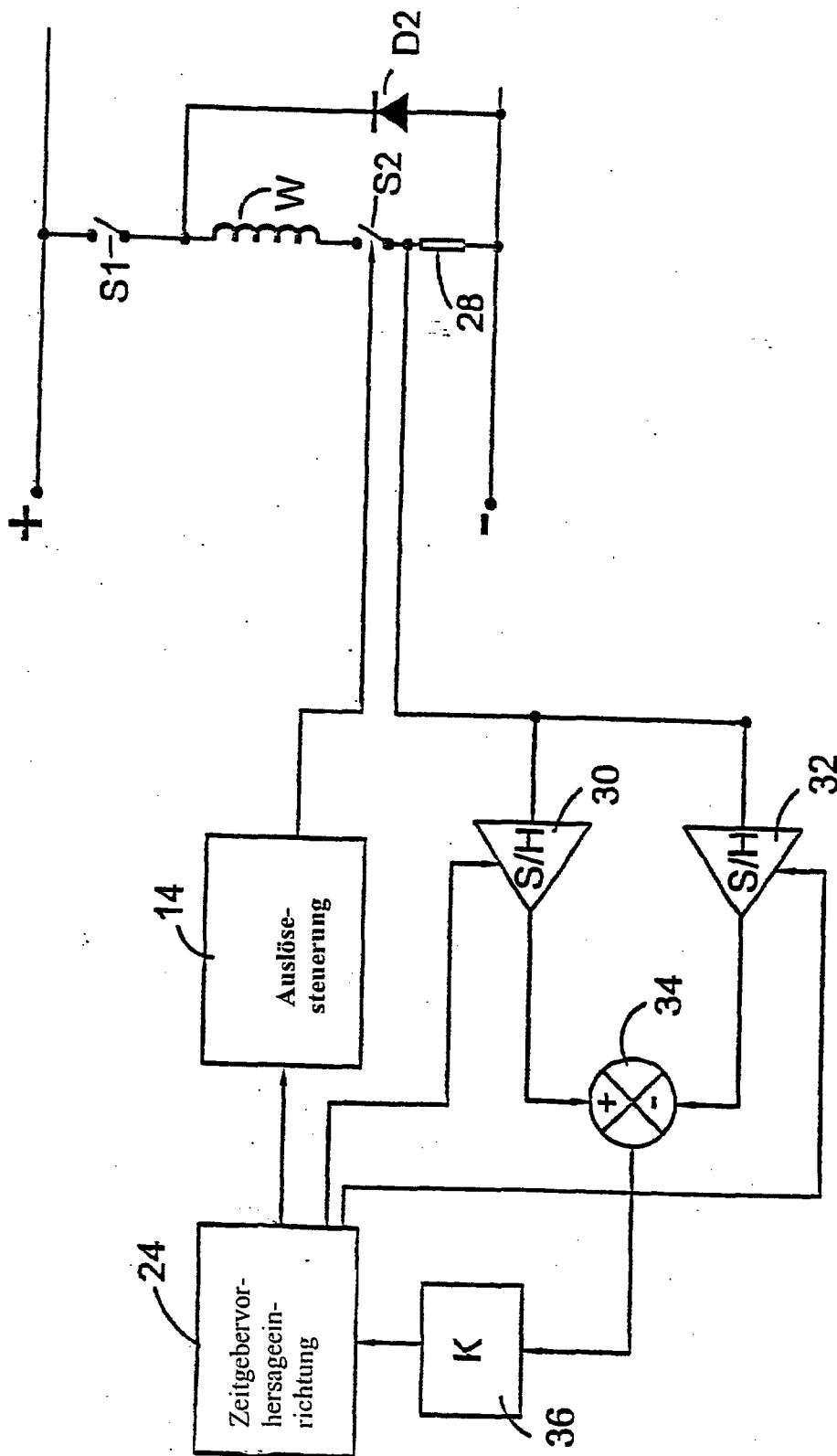


FIG 9