

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2076/91

(51) Int.Cl.⁵ : **G01R 31/34**

(22) Anmeldetag: 18.10.1991

(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.1993

(45) Ausgabetag: 25. 7.1994

(73) Patentinhaber:

ELIN ENERGIEANWENDUNG GESELLSCHAFT M.B.H.
A-1141 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

SCHRÖDL MANFRED DIPL.ING. DR.
SIEGGRABEN, BURGENLAND (AT).

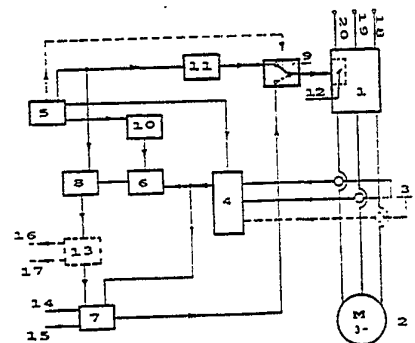
(54) VERFAHREN ZUR MAGNETFLUSSBESTIMMUNG UND ZUR DYNAMISCH HOCHWERTIGEN MOMENTENAUFBRINGUNG AN EINER ÜBER EINEN UMRICHTER GESPEISTEN ASYNCHRONMASCHINE

(57) Es wird die Magnetflußbestimmung und Momentenaufbringung an Asynchronmaschinen behandelt.

Erfindungsgemäß wird die Rückwirkung von an die Asynchronmaschine (2) abgesetzten Meßsignalen ausgenutzt. Diese sind vom Umrichter (1) generierte Spannungssprünge, die Stromänderungen bewirken, welche ausgewertet werden.

Gemäß einer Schaltungsanordnung wird über einen Spannungszwischenkreisumrichter 1 eine Asynchronmaschine 2 gespeist, wobei in der Zuleitung Strommeßeinrichtungen 3 vorgesehen sind. Diese liefern mit einem Stromerfassungsmodul 4, unter Einbeziehung einer übergeordneten Steuerung 5, welche das Timing übernimmt, den aktuellen Stromraumzeiger. Aus diesem wird, unter Verwendung einer Timer-Einheit 10, in einem Stromanstiegsrechner 6 der Stromänderungsraumzeiger ermittelt. Dieser wird, gemeinsam mit der Spannungsräumzeigerrichtungsinformation, die von der übergeordneten Steuerung 5 generiert wird, in einem Flußwinkelrechner 8 zur Berechnung des Flußwinkels herangezogen, welcher in einem Feldorientierungs- und Stromregelungsblock 7, der die Eingänge "Sollmoment" und "Sollmagnetisierung" aufweist, zur Ermittlung des Umrichtersteuerzustandes verwendet wird.

Dadurch ist auch bei tiefen Drehzahlen kein mechanischer Geber notwendig. Das Verfahren ist unempfindlich gegenüber Unsicherheiten im Parameter Rotorwiderstand, und es kann auf Spannungsmessungen verzichtet werden.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Magnetflußbestimmung und zur dynamisch hochwertigen Momentenaufbringung an einer über einen Umrichter gespeisten Asynchronmaschine.

Umrichtergespeiste Asynchronmaschinen gewinnen durch die Fortschritte auf dem Sektor der Leistungs- und Informationselektronik zunehmend an Bedeutung in der Antriebstechnik. Sie zeichnen sich gegenüber Synchron- und Gleichstrommaschinen durch höhere Robustheit und geringere Herstellungskosten aus.

Für die Durchführung der Regelalgorithmen bei dynamisch hochwertigen feldorientierten Regelkonzepten ergibt sich bei tiefen Drehzahlen die Notwendigkeit eines mechanischen Gebers zur Erfassung der Rotorlage oder Rotorgeschwindigkeit. Asynchronmaschinen können ohne Lagegeber und Tachogeneratoren dynamisch hochwertig betrieben werden, wenn die Drehzahl einen gewissen Minimalwert überschreitet, so daß aus der induzierten Spannung der magnetische Fluß aus elektrischen Größen berechnet werden kann. Im tiefen Drehzahlbereich ist dies bisher noch nicht gelungen. Es ist daher das Ziel vieler Forschungsaktivitäten, den mechanischen Geber durch mathematische Modelle und/oder durch Ausnützung physikalischer Effekte zu ersetzen.

In der Zeitschrift "etzArchiv", Bd. 12/1990/H.11, Seite 349 bis 351, befaßt sich der Artikel "Determination of the stator flux space vector of saturated AC machines" mit ebendieser Problematik. Konkret wird dabei eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, bei einer Wechselstrommaschine, die über eine pulsbreitenmodulierte Wechselrichterstufe angespeist wird, eine Echtzeitbestimmung des Statorspannungszeigers jeweils einmal innerhalb einer Schwingungsdauer durchzuführen. Mit dieser Methode können die Meßfehler der zur Berechnung benötigten Werte der Phasenströme und -spannungen einigermaßen klein gehalten werden. Rotorgeschwindigkeitsmessungen werden hiezu nicht benötigt.

Nachteilig bei dieser Methode ist, daß explizit Induktivitäten berechnet werden, und deshalb jedenfalls eine Spannungsmessung notwendig ist.

In der Dissertation "Entwurf und Aufbau eines nichtlinearen Zustands- und Parameterbeobachters für transient betriebene Asynchronmaschinen" von Manfred Schrödl (Technische Universität Wien, 1987, Seite 14 f.) wird die Ermittlung des Rotorflusses aus der Statorgleichung bei Drehstrommaschinen behandelt. Dabei wird ein "Spannungsmodell" zur Hilfe genommen, welches auf der Formel

$$\dot{\Psi}_R = \frac{X_R}{X_H} \cdot (\underline{\mu}_s - \underline{i}_s \cdot \pi_s - \sigma X_s \dot{\underline{i}}_s)$$

basiert, wobei

- Ψ_R ... Rotorflußraumzeiger
- X_R ... bezogene Reaktanz
- X_H ... bezogene Hauptfeldreaktanz
- $\underline{\mu}_s$... Statorspannungsraumzeiger
- \underline{i}_s ... Statorstromraumzeiger
- π_s ... bezogener Statorwiderstand
- σ ... Streukoeffizient
- X_s ... bezogene Statorreaktanz
- $\dot{}$... zeitliche Ableitung

bedeutet.

Das Modell bietet den Vorteil, daß der Fluß allein aus der Messung elektrischer Größen bestimmt werden kann, somit kein elektrischer Geber erforderlich ist.

Wie aus der Formel ersichtlich, wirken sich bei großen Spannungsraumzeigerbeträgen - das entspricht hohen Drehzahlen - die stromabhängigen Terme, insbesondere bei geringer Belastung, nur schwach auf den Flußwert aus. Es kann also in diesen Betriebsbereichen mit einer guten Genauigkeit gerechnet werden.

Der Nachteil der vorgestellten Meßmethode besteht darin, daß - dies ergibt sich aufgrund der aus der Formel ersichtlichen Integration ohne Rückkopplung - der Einfluß von Meßfehlern und des temperaturabhängigen Statorwiderstandes sowie bei analogem Aufbau die Drift der Integratoren die Modellqualität zunehmend verschlechtern.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Flußbestimmung und zur Momentenaufbringung an Asynchronmaschinen durch Messung ausschließlich elektrischer Größen zu realisieren und die Nachteile bzw. Ungenauigkeiten der bekannten Verfahren zu vermeiden.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst.

Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß die Asynchronmaschine vor Beginn der Messung aufmagnetisiert wird, und daß die Rückwirkung von an die Asynchronmaschine abgesetzten Meßsignalen gemessen wird, und daß die Meßsignale vom Umrichter generierte, entweder eigens erzeugte oder betriebsmäßig auftretende Spannungssprünge sind, sofern die betriebsmäßig auftretenden Signale aufgrund der erfindungsgemäßen Auswertalgorithmen geeignet sind, die Stromänderungen in den vom Umrichter gespeisten Wicklungen der Asynchronmaschine bewirken, welche gemessen und einem Rechner zugeführt werden, der eine komplexe Kenngröße ermittelt, welche dem Quotienten aus Statorspannungsraumzeiger und zeitlicher Änderung des Statorstromraumzeigers proportional oder verkehrtproportional ist, im folgenden als komplexe Kenngröße bezeichnet, wobei die Richtung des Spannungsraumzeigers aus dem bekannten Umrichter-Ansteuerzustand hervorgeht, und den magnetischen Fluß berechnet, wobei die komplexe Kenngröße sowohl in ihrem Realteil als auch in ihrem Imaginärteil mit dem doppelten Wert des magnetischen Flußwinkels näherungsweise sinusförmig schwankt und aus Real- und Imaginärteil den doppelten Wert des gesuchten magnetischen Flußwinkels nach bekannten Methoden der komplexen Rechnung mit dem Rechner ermittelt.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber bekannten Methoden, die auch bei tiefen Drehzahlen funktionieren, besteht darin, daß kein mechanischer Geber notwendig ist und daß das Verfahren unempfindlich gegenüber Unsicherheiten im Parameter Rotorwiderstand ist und daß auf Spannungsmessungen verzichtet werden kann. Weiters ist vorteilhaft, daß keine analogen Zusatzstromquellen benötigt werden, sondern der ohnehin vorhandene speisende Umrichter als Meßsignalgenerator eingesetzt wird.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß dieser Verfahrensschritt mit geänderter Spannungsraumzeigerrichtung, in der vorzugsweise strangzahlgleichen Anzahl, wiederholt wird und für jede Meßrichtung die örtliche komplexe Kenngröße ermittelt wird und daraus unter der idealisierten Annahme einer sinusförmigen Schwankung von Betrag und Phase der komplexen Kenngröße, wobei deren Betrag seine Extremwerte in der Magnetisierungsachse und elektrisch 90 Grad darauf und deren Argument an diesen Stellen ihre Nulldurchgänge und bei Winkeln von elektrisch $45^\circ + k \cdot 90^\circ$ ihre Extrema aufweist, unter Verwendung von Realteilen allein, Imaginärteilen allein oder einer Kombination von beiden, vorzugsweise so, daß im statistischen Mittel die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Wert der Flußachse und dem durch obige Testmessungen ermittelten Wert minimal wird und dann, unter Verwendung der bekannten Methoden der komplexen Rechnung, der doppelte Wert des gesuchten magnetischen Flußwinkels ermittelt wird.

Der Vorteil dieser Weiterbildung besteht darin, daß damit die Genauigkeit des Verfahrens weiter gesteigert wird.

Eine Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des elektrischen Flußwinkels durch Subtraktion von zwei Stromanstiegmessungen, bei denen in beiden Teilmessungen der gleiche Spannungsraumzeiger anliegt, wobei die Statorstromraumzeiger, die im Mittel während der beiden Teilmessungen anliegen, so verschieden sein müssen, daß sich die Streuinduktivität aufgrund der unterschiedlichen Statorströme dabei merkbar unterscheidet, wodurch dann die gemessene Differenz der beiden Stromraumzeiger-Änderungsgeschwindigkeiten ein komplexer Zeiger ist, dessen Real- und Imaginärteil mit Flußraumzeiger-Umlaufgeschwindigkeit oszillieren, so daß das Argument dieses komplexen Zeigers mit der elektrischen Lage der Flußachse in eindeutigen Zusammenhang steht, ermittelt wird.

Dadurch wird nicht nur die Flußachse, sondern gleichzeitig auch die Polarität des Flusses ermittelt.

In einer zusätzlichen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß eine Kombination von mehreren, vorzugsweise der Strangzahl entsprechenden, Messungen erfolgt, wobei diese in verschiedenen Raumzeigerrichtungen durchgeführt werden, und daß entweder nur die Realteile der komplexen Zeiger, oder nur die Imaginärteile, vorzugsweise entsprechend der üblichen Raumzeigerdefinition, zu neuen komplexen Kenngrößen zusammengefaßt werden, oder beide Auswertungen, also jene der Realteile und jene der Imaginärteile, kombiniert werden und zwar vorzugsweise so, daß die statistischen Eigenschaften des Fehlers der auf diese Weise ermittelten Flußachse minimiert werden.

Durch die Kombination mehrerer Messungen kann die Genauigkeit der Auswertung, bei gleichzeitiger Ermittlung der Polarität, erhöht werden.

Im Rahmen der Erfindung werden zwei Messungen durchgeführt, wobei der Spannungsraumzeiger der zweiten Messung ein beliebiger Spannungsraumzeiger ist, der ungleich dem der ersten Messung ist, und daß dieser Spannungsraumzeiger auch der Nullspannungsraumzeiger sein kann, und daß die Differenz der in diesen Messungen verwendeten Spannungsraumzeiger einerseits und die Differenz der aus diesen Messungen ermittelten zeitlichen Änderungen der Stromraumzeiger andererseits gebildet werden und diese Raumzeigergrößen an die Stelle der entsprechenden Raumzeigergrößen bei Einzelmessungen treten.

Dadurch ist es vorteilhafterweise möglich, aus einer größeren Anzahl von Meßraumzeigern zu wählen und im speziellen die betrieblich auftretenden Spannungsraumzeiger zur Messung heranziehen zu können.

In einer zusätzlichen Weiterbildung werden zwei innerhalb eines ausreichend kurzen Zeitintervalles durchgeführte Messungspaare kombiniert, sofern die Spannungsdifferenzraumzeiger der beiden Messungspaare unterschiedliche Argumente aufweisen, indem von jedem Messungspaar die komplexe Kenngröße gebildet und sodann die Differenz dieser beiden komplexen Kenngrößen gebildet wird, die die Eigenschaft hat, daß sie, sowohl in ihrem Real- als auch in ihrem Imaginärteil näherungsweise sinusförmig mit dem doppelten Flußwinkel schwankt und sowohl in ihrem Imaginär- als auch in ihrem Realteil offsetfrei ist.

10 Damit gehen bei der Berechnung des Flußwinkels gemäß den bekannten Methoden der komplexen Rechnung keine maschinenabhängigen Kenngrößen in gravierender Weise in das Ergebnis ein.

In einer weiteren Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß zu vorher festgelegten und damit von stromunabhängigen Meßzeiten die Stromwerte ermittelt werden.

Der Vorteil dabei ist, daß diese Variante durch einfache hard- oder softwaremäßige Ablaufsteuerungen 15 implementierbar ist.

Eine weitere Ausbildung im Rahmen der Erfindung sieht vor, daß zu vordefinierten Stromwerten die zugehörigen Zeitaugenblicke ermittelt werden.

Diese Variante der Erfindung ist vorteilhaft, wenn der Antrieb mit Toleranzbandstromreglern ausgestattet ist, deren Komparatoren dann die Bedingungen für Meßanfang und Meßende in einfacher Weise liefern.

20 In einer Ausgestaltung der Erfindung wird die Lage des Meßintervalles so gewählt, daß Stromanstiegs- und -abfallmessungen symmetrisch zum Stromarbeitspunkt liegen, wobei die Stromanstiegs- und -abfallmessungen in zwei Teile zerlegbar sind.

Der Vorteil dabei ist, daß die Anstiegs- und die Abfallmessung im Mittel die gleichen magnetischen Verhältnisse vorfinden, wodurch die Genauigkeit der Flußerfassung erhöht wird.

25 In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausbildung wird die Messung nach Abklingen der durch die Schalthandlungen ausgelösten Einschwingvorgänge der elektromagnetischen Größen gestartet.

Der Vorteil dieser Ausbildung besteht darin, daß Fehler in der Strommessung, die durch die Schalthandlungen auftreten, vermieden werden.

Eine zusätzliche Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die Feststellung des 30 Vorzeichens des magnetischen Flusses dadurch erfolgt, daß der magnetische Arbeitspunkt in der nach obigen Methoden festgestellten Flußachse verschoben wird, indem näherungsweise ein Stromraumzeiger eingepreßt wird und sofort - wie oben geschildert - die komplexe Kenngröße bestimmt und ihr Betrag berechnet wird, sodann ein Stromraumzeiger in die Gegenrichtung zum zuvor eingepreßten Stromraumzeiger eingepreßt und wiederum der Betrag berechnet wird, und dann aus der Tatsache, daß die Magnetisierungsrichtung mit dem Minimum der zwei zuvor berechneten Beträge übereinstimmt, die mit dem 35 gesuchten Flußwinkel übereinstimmende Magnetisierungsrichtung festlegt.

Auf diese Weise kann, beispielsweise nach Absturz des Rechners, die eventuell fehlende Kenntnis der Polarität des Flusses gewonnen werden.

Eine weitere erfindungsgemäße Ausbildung besteht darin, daß die bei der Bildung der komplexen 40 Kennwerte auftretenden spannungs-, strom-, drehzahl- und flußbetragsabhängigen Offsets in Real- bzw. Imaginärteil durch Korrekturwerte berücksichtigt bzw. eliminiert werden, wobei die Korrekturwerte entweder aus Tabellen entnommen werden oder durch einfache, vorzugsweise lineare, Korrekturfunktionen ermittelt werden, oder, bei Überschreitung eines gewissen Wertes der Drehzahl, durch direkte Echtzeitbestimmung aus den Real- bzw. Imaginärteilen über Tiefpässe bestimmt werden.

45 Durch diese vorteilhafte Ausbildung wird die Genauigkeit der Flußbildung wesentlich verbessert.

Eine zusätzliche Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß die Berücksichtigung des Einflusses des Ankerstromes auf die ermittelte Flußrichtung durch einen Korrekturwert erfolgt, welcher entweder aus Tabellen entnommen oder mittels einfacher, vorzugsweise linearer, Korrekturfunktion berechnet wird.

50 Damit wird erreicht, daß sich der nicht vom Rotorstrombelag kompensierte Anteil des Statorstrombelages, also jener Anteil, der den Statorstreufluß produziert, auf die Ermittlung der Flußrichtung auswirkt. Dadurch kann vorteilhafterweise die Genauigkeit der Flußerfassung auch bei Belastung beibehalten werden.

In einer weiteren Ausbildung der Erfindung wird die gewonnene Flußinformation mit dem bekannten "Spannungsmodell" für Asynchronmaschinen kombiniert und in Drehzahlbereichen, in denen das Spannungsmodell durch die offene Integration der Statorspannung unzuverlässig arbeitet, fallweise Messungen 55 nach obigen Ansprüchen eingebaut, welche dann als Adaption bzw. Korrektur des durch das Spannungsmodell ermittelten Flusses dienen.

Durch diese Ausbildung kann die Anzahl der Meßzyklen drastisch vermindert werden, wodurch einerseits die durch die Messung verursachten Zusatzverluste zufolge des erhöhten Stromüberschwingungsgehaltes als auch die Geräuschentwicklung reduziert werden.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Flußinformation dazu benutzt wird, in die Richtung des ermittelten Flusses die gewünschte flußbildende Stromkomponente einzuprägen und damit die Magnetisierung der Maschine festzulegen und normal dazu die gewünschte drehmomentbildende Stromkomponente einzuprägen und damit das von der Maschine zu entwickelnde Drehmoment festzulegen.

Damit wird vorteilhafterweise eine feldorientierte Regelung mit sehr guten dynamischen Eigenschaften realisiert.

Im Rahmen der Erfindung wird die Flußinformation durch Kombination mit einem Zustandsmodell der Asynchronmaschine verbessert, indem vorzugsweise die Drehzahl, der Flußwinkel und das Lastmoment als Zustandsgrößen, sowie die ermittelte Flußachse als Meßgröße definiert wird und über eine nach den bekannten Methoden der Regelungstechnik zu dimensionierende Rückführung der Abweichung zwischen Zustandsgröße Flußwinkel und Meßgröße Flußachse auf die geschätzten Zustandsgrößen in genauigkeitserhöhender Weise eingegriffen wird.

Dadurch wird, unter Nutzung der identifizierten Flußachse in Verbindung mit einer elektromechanischen Beschreibung der Asynchronmaschine, auch die Drehzahl und gegebenenfalls das Lastmoment ohne mechanische Geber ermittelt.

Eine besondere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, daß die Drehfeldgeschwindigkeit und der Flußraumzeiger durch Subtraktion von zwei Teilmessungen, wobei die zwei gemessenen Stromänderungsraumzeiger mit je einem komplexen Versor, welcher den Betrag 1 aufweist, multipliziert werden, deren Argumentdifferenz dem Differenzwinkel zwischen den beiden Spannungsraumzeigern der beiden Teilmessungen gleich ist, und deren Beträge gleich und vorzugsweise 1 sind, wobei ein komplexer Versor auch das Argument Null aufweisen kann, so daß eine komplexe Multiplikation eingespart werden kann, so daß aufgrund des Raumzeigers des Ergebnisses der Subtraktion unmittelbar das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußverkettungsraumzeiger folgt und damit aus dem Argument dieses komplexen Ausdruckes die Richtung des Flußraumzeigers, und aus dem Betrag das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeigerbetrag folgt.

Dadurch wird ein "Spannungsmodell" realisiert, das ohne Spannungsmessung, also unter alleiniger Verwendung der Strommessung auskommt und speziell bei höheren Drehzahlen verwendet wird. Der Terminus "komplexer Versor" ist eine in der komplexen Raumzeigerrechnung übliche Bezeichnung für einen komplexen Operator, welcher das Argument eines komplexen Raumzeigers verändert, ohne dessen Betrag zu ändern.

Eine weitere erfindungsgemäße Ausbildung sieht vor, daß die Drehfeldgeschwindigkeit und der Flußraumzeiger dadurch ermittelt werden, daß der komplexe Stromänderungsraumzeiger zufolge des Nullspannungsraumzeigers gemessen wird, und daß aufgrund des komplexen Stromänderungsraumzeigers unmittelbar das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeiger folgt und damit aus dem Argument dieses komplexen Ausdruckes die Richtung des Flußraumzeigers, und aus dem Betrag das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeigerbetrag folgt.

Der Vorteil dabei ist, daß mit einer einzigen Messung die Flußrichtung und das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeigerbetrag ermittelt werden, wenn die Drehfeldgeschwindigkeit einen gewissen Mindestwert übersteigt.

Im Rahmen der Erfindung ist eine Schaltungsanordnung vorgesehen, welche dadurch gekennzeichnet ist, daß die Stromistwerte der Stränge der Statorwicklung der Asynchronmaschine von zwischen einem Umrichter und der Asynchronmaschine angeordneten Strommeßeinrichtungen abgenommen und den ersten Eingängen eines Stromerfassungs-Moduls zugeführt sind, und daß ein Steuerausgang einer übergeordneten Steuerung mit einem Steuereingang des Stromerfassungs-Moduls verbunden ist, und daß der Ausgang des Stromerfassungs-Moduls mit jeweils einem ersten Eingang eines Stromanstiegsrechners und eines Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls verbunden ist, und daß der Ausgang des Stromanstiegsrechners mit einem ersten Eingang eines Flußwinkelrechners verbunden ist, und daß der Ausgang des Flußwinkelrechners mit einem zweiten Eingang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls verbunden ist, und daß das Sollmoment bzw. die Sollmagnetisierung jeweils einem dritten bzw. einem vierten Eingang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls zugeführt sind, und daß der Ausgang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls mit einem ersten Eingang einer Umschaltelogik verbunden ist, und daß ein Ausgang der Timereinheit mit einem zweiten Eingang des Stromanstiegsrechners verbunden ist, und daß ein dritter Ausgang der übergeordneten Steuerung mit dem Eingang eines Umrichteransteuerzustands-Bildners sowie mit einem zweiten Eingang des Flußwinkelrechners verbunden ist, und daß der Ausgang des Umrichteransteuerzustands-Bildners mit einem zweiten Eingang der Umschaltelogik

verbunden ist, wobei die Umschaltelogik von der übergeordneten Steuerung angesteuert ist, und daß der Ausgang der Umschaltelogik mit dem Eingang eines Ansteuerungsmoduls des Umrichters verbunden ist.

Mit dieser Schaltungsanordnung kann das erfindungsgemäße Verfahren auf einfache Weise auf handelsüblichen Signal- und Mikroprozessoren bzw. -controllern implementiert werden.

5 Eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung sieht vor, daß die Verbindung zwischen Flußwinkelrechner und Feldorientierungs- und Stromregelungs-Modul über ein dynamisches Asynchronmotor-Modell geführt ist, und daß die Drehzahl bzw. das Lastmoment von einem ersten bzw. einem zweiten Ausgang des dynamischen Asynchronmotor-Modells über eine erste bzw. eine zweite Leitung einem oder mehreren überlagerten Regelkreisen zugeführt und eingebunden sind.

10 Damit kann das erfindungsgemäße Verfahren in mehrschleifige Regelungen, beispielsweise Drehzahl- und Drehmomentenregelungen, integriert werden.

An Hand eines Ausführungsbeispiels soll nun die Erfindung, unter Verwendung einer dreisträngigen Asynchronmaschine, näher erläutert werden. (Dasselbe erfindungsgemäße Prinzip ist für Asynchronmaschinen mit anderen Strangzahlen in gleicher Weise anwendbar.)

15 Die Fig. zeigt die drei Adern 18, 19, 20 einer Drehstromleitung, die einem Spannungszwischenkreisumrichter 1 zugeführt sind, welcher eine Asynchronmaschine 2 speist. In den Zuleitungen zwischen Spannungszwischenkreisumrichter 1 und Asynchronmaschine 2 sind Strommeßeinrichtungen 3 vorgesehen. Die Strommeßeinrichtungen 3 liefern mit einem Stromerfassungsmodul 4, unter Einbeziehung einer übergeordneten Steuerung 5, welche das Timing übernimmt, den aktuellen Stromraumzeiger. Aus diesem wird, unter
20 Verwendung einer Timer-Einheit 10, in einem Stromanstiegsrechner 6 der Stromänderungsraumzeiger ermittelt. Dieser wird gemeinsam mit der Spannungsraumzeigerrichtungsinformation, die von der übergeordneten Steuerung 5 generiert wird, in einem Flußwinkelrechner 8 zur Berechnung des Flußwinkels herangezogen, welcher in einem Feldorientierungs- und Stromregelungsblock 7, der die Eingänge "Sollmoment" und "Sollmagnetisierung" aufweist, zur Ermittlung des Umrichteransteuerzustandes verwendet wird.

25 Weiters kann der vom Flußwinkelrechner 8 ermittelte Flußwinkel in überlagerte Regelkreise (etwa Drehzahl- und Drehmomentregelkreise) eingebunden werden. Die übergeordnete Steuerung 5 entscheidet, ob die Umrichteransteuerung im Falle der Durchführung des erfindungsgemäßen Flußwinkel-Bestimmungsalgorithmus in einer Umschaltelogik 9 von einem Spannungsraumzeiger-Bildner 11 oder, im normalen Stromregelfall, vom Feldorientierungs- und Stromregelungs-Modul 7 bewerkstelligt wird.

30 Da die Summe der der Asynchronmaschine zugeführten Ströme Null sein muß, kann eine Strommeßeinrichtung 3 eingespart werden.

Patentansprüche

- 35 1. Verfahren zur Magnetflußbestimmung und zur dynamisch hochwertigen Momentenaufbringung an einer über einen Umrichter gespeisten Asynchronmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Asynchronmaschine (2) vor Beginn der Messung aufmagnetisiert wird, und daß die Rückwirkung von an die Asynchronmaschine (2) abgesetzten Meßsignalen gemessen wird, und daß die Meßsignale vom Umrichter (1) generierte, entweder eigens erzeugte oder betriebsmäßig auftretende Spannungssprünge
40 sind, sofern die betriebsmäßig auftretenden Signale aufgrund der erfindungsgemäßen Auswertalgorithmen geeignet sind, die Stromänderungen in den vom Umrichter gespeisten Wicklungen der Asynchronmaschine bewirken, welche gemessen und einem Rechner zugeführt werden, der eine komplexe Kenngröße ermittelt, welche dem Quotienten aus Statorspannungsraumzeiger und zeitlicher Änderung des Statorstromraumzeigers proportional oder verkehrtproportional ist, im folgenden als
45 komplexe Kenngröße bezeichnet, wobei die Richtung des Spannungsraumzeigers aus dem bekannten Umrichter-Ansteuerzustand hervorgeht, und den magnetischen Fluß berechnet, wobei die komplexe Kenngröße sowohl in ihrem Realteil als auch in ihrem Imaginärteil mit dem doppelten Wert des magnetischen Flußwinkels näherungsweise sinusförmig schwankt und aus Real- und Imaginärteil den doppelten Wert des gesuchten magnetischen Flußwinkels nach bekannten Methoden der komplexen
50 Rechnung mit dem Rechner ermittelt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß dieser Verfahrensschritt mit geänderter Spannungsraumzeigerrichtung, in der vorzugsweise strangzahlgleichen Anzahl, wiederholt wird und für jede Meßrichtung die örtliche komplexe Kenngröße ermittelt wird und daraus unter der idealisierten
55 Annahme einer sinusförmigen Schwankung von Betrag und Phase der komplexen differentiellen Streuinduktivität, wobei deren Betrag seine Extremwerte in der Magnetisierungsachse und elektrisch 90 Grad darauf und deren Argument an diesen Stellen ihre Nulldurchgänge und bei Winkeln von elektrisch $45^\circ + k \cdot 90^\circ$ ihre Extrema aufweist, unter Verwendung von Realteilen allein, Imaginärteilen allein

oder einer Kombination von beiden, vorzugsweise so, daß im statistischen Mittel die Abweichung zwischen dem tatsächlichen Wert der Flußachse und dem durch obige Testmessungen ermittelten Wert minimal wird und dann, unter Verwendung der bekannten Methoden der komplexen Rechnung, der doppelte Wert des gesuchten magnetischen Flußwinkels ermittelt wird.

5

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bestimmung des elektrischen Flußwinkels durch Subtraktion von zwei Stromanstiegsmessungen, bei denen in beiden Teilmessungen der gleiche Spannungsraumzeiger anliegt, wobei die Statorstromraumzeiger, die im Mittel während der beiden Teilmessungen anliegen, so verschieden sein müssen, daß sich die Streuinduktivität aufgrund der unterschiedlichen Statorströme dabei merkbar unterscheidet, wodurch dann die gemessene Differenz der beiden Stromraumzeiger-Änderungsgeschwindigkeiten ein komplexer Zeiger ist, dessen Real- und Imaginärteil mit Flußraumzeiger-Umlaufgeschwindigkeit oszillieren, so daß das Argument dieses komplexen Zeigers mit der elektrischen Lage der Flußachse in eindeutigen Zusammenhang steht, ermittelt wird.
- 10
- 15
4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Kombination von mehreren, vorzugsweise der Strangzahl entsprechenden, Messungen erfolgt, wobei diese in verschiedenen Raumzeigerrichtungen durchgeführt werden, und daß entweder nur die Realteile der komplexen Zeiger, oder nur die Imaginärteile, vorzugsweise entsprechend der üblichen Raumzeigerdefinition, zu neuen komplexen Kenngrößen zusammengefaßt werden, oder beide Auswertungen, also jene der Realteile und jene der Imaginärteile, kombiniert werden und zwar vorzugsweise so, daß die statistischen Eigenschaften des Fehlers der auf diese Weise ermittelten Flußachse minimiert werden.
- 20
- 25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Messungen durchgeführt werden, wobei der Spannungsraumzeiger der zweiten Messung ein beliebiger Spannungsraumzeiger ist, der ungleich dem der ersten Messung ist, und daß dieser Spannungsraumzeiger auch der Nullspannungsraumzeiger sein kann, und daß die Differenz der in diesen Messungen verwendeten Spannungsraumzeiger einerseits und die Differenz der aus diesen Messungen ermittelten zeitlichen Änderungen der Spannungsraumzeiger andererseits gebildet werden und diese Raumzeigergrößen an die Stelle der entsprechenden Raumzeigermessungen bei Einzelmessungen treten.
- 30
- 35
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei innerhalb eines ausreichend kurzen Zeitintervalles durchgeführte Messungspaare kombiniert werden, sofern die Spannungsdifferenzraumzeiger der beiden Messungspaare unterschiedliche Argumente aufweisen, indem von jedem Messungspaar die komplexe Kenngröße gebildet und sodann die Differenz dieser beiden komplexen Kenngrößen gebildet wird, die die Eigenschaft hat, daß sie, sowohl in ihrem Real- als auch in ihrem Imaginärteil näherungsweise sinusförmig mit dem doppelten Flußwinkel schwankt und sowohl in ihrem Imaginärteil als auch in ihrem Realteil offsetfrei ist.
- 40
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu vorher festgelegten und damit von stromunabhängigen Meßzeiten die Stromwerte ermittelt werden.
- 45
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu vordefinierten Stromwerten die zugehörigen Zeitaugenblicke ermittelt werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Lage des Meßintervalles so gewählt wird, daß Stromanstiegs- und -abfallmessungen symmetrisch zum Stromarbeitspunkt liegen, wobei die Stromanstiegs- und -abfallmessungen in zwei Teile zerlegbar sind.
- 50
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Messung nach Abklingen der durch die Schaltheftungen ausgelösten Einschwingvorgänge der elektromagnetischen Größen gestartet wird.
- 55
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Feststellung des Vorzeichens des magnetischen Flusses dadurch erfolgt, daß der magnetische Arbeitspunkt in der nach obigen Methoden festgestellten Flußachse verschoben wird, indem näherungsweise ein Stromraumzeiger eingeprägt wird und sofort - wie oben geschildert - die komplexe Kenngröße bestimmt und ihren Betrag berechnet wird, sodann ein Stromraumzeiger in die Gegenrichtung zum zuvor eingeprägten

Stromraumzeiger eingepreßt und wiederum den Betrag berechnet wird, und dann aus der Tatsache, daß die Magnetisierungsrichtung mit dem Minimum der zwei zuvor berechneten Beträge übereinstimmt, die mit dem gesuchten Flußwinkel übereinstimmende Magnetisierungsrichtung festliegt.

- 5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bei der Bildung der komplexen Kennwerte auftretenden spannungs-, strom-, drehzahl- und flußbetragsabhängigen Offsets in Real- bzw. Imaginärteil durch Korrekturwerte berücksichtigt bzw. eliminiert werden, wobei die Korrekturwerte entweder aus Tabellen entnommen werden oder durch einfache, vorzugsweise lineare, Korrekturfunktionen ermittelt werden, oder, bei Überschreitung eines gewissen Wertes der Drehzahl, durch
10 direkte Echtzeitbestimmung aus den Real- bzw. Imaginärteilen über Tiefpässe bestimmt werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berücksichtigung des Einflusses des Ankerstromes auf die ermittelte Flußrichtung durch einen Korrekturwert erfolgt, welcher entweder aus Tabellen entnommen oder mittels einfacher, vorzugsweise linearer, Korrekturfunktion berechnet wird.
15
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die gewonnene Flußinformation mit dem bekannten "Spannungsmodell" für Asynchronmaschinen kombiniert wird und in Drehzahlbereichen, in denen das Spannungsmodell durch die offene Integration der Statorspannung
20 unzuverlässig arbeitet, fallweise Messungen nach obigen Ansprüchen eingebaut werden, welche dann als Adaption bzw. Korrektur des durch das Spannungsmodell ermittelten Flusses dienen.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Flußinformation dazu benutzt wird, in die Richtung des ermittelten Flusses die gewünschte flußbildende Stromkomponente einzuprägen und damit die Magnetisierung der Maschine festzulegen und normal dazu die
25 gewünschte drehmomentbildende Stromkomponente einzuprägen und damit das von der Maschine zu entwickelnde Drehmoment festzulegen.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Flußinformation durch Kombination mit einem Zustandsmodell der Asynchronmaschine verbessert wird, indem vorzugsweise die Drehzahl, der Flußwinkel und das Lastmoment als Zustandsgrößen, sowie die ermittelte
30 Flußachse als Meßgröße definiert wird und über eine nach den bekannten Methoden der Regelungstechnik zu dimensionierende Rückführung der Abweichung zwischen Zustandsgröße Flußwinkel und Meßgröße Flußachse auf die geschätzten Zustandsgrößen in genauigkeitserhöhender Weise eingegriffen wird.
35
17. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drehfeldgeschwindigkeit und der Flußraumzeiger durch Subtraktion von zwei Teilmessungen, wobei die
40 zwei gemessenen Stromänderungsraumzeiger mit je einem komplexen Versor, welcher den Betrag 1 aufweist, multipliziert werden, deren Argumentdifferenz dem Differenzwinkel zwischen den beiden Spannungsraumzeigern der beiden Teilmessungen gleich ist, und deren Beträge gleich und vorzugsweise 1 sind, wobei ein komplexer Versor auch das Argument Null aufweisen kann, so daß eine komplexe Multiplikation eingespart werden kann, so daß aufgrund des Raumzeigers des Ergebnisses der Subtraktion unmittelbar das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußverkettungsraumzeiger
45 folgt und damit aus dem Argument dieses komplexen Ausdruckes die Richtung des Flußraumzeigers, und aus dem Betrag das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeigerbetrag folgt.
18. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß die
50 Drehfeldgeschwindigkeit und der Flußraumzeiger dadurch ermittelt werden, daß der komplexe Stromänderungsraumzeiger zufolge des Nullspannungsraumzeigers gemessen wird, und daß aufgrund des komplexen Stromänderungsraumzeigers unmittelbar das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeiger folgt und damit aus dem Argument dieses komplexen Ausdruckes die Richtung des Flußraumzeigers, und aus dem Betrag das Produkt aus Drehfeldgeschwindigkeit und Flußraumzeigerbetrag folgt.
55
19. Schaltungsanordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Stromistwerte der Stränge der Statorwicklung der Asynchronmaschine (2) von zwischen einem Umrichter (1) und der Asynchronmaschine (2) angeordneten Strommeßeinrichtungen (3) abgenommen

und den ersten Eingängen eines Stromerfassungs-Moduls (4) zugeführt sind, und daß ein Steuerausgang einer übergeordneten Steuerung (5) mit einem Steuereingang des Stromerfassungs-Moduls (4) verbunden ist, und daß der Ausgang des Stromerfassungs-Moduls (4) mit jeweils einem ersten Eingang eines Stromanstiegsrechners (6) und eines Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls verbunden ist, und daß der Ausgang des Stromanstiegsrechners (6) mit einem ersten Eingang eines Flußwinkelrechners (8) verbunden ist, und daß der Ausgang des Flußwinkelrechners (8) mit einem zweiten Eingang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls (7) verbunden ist, und daß das Sollmoment bzw. die Sollmagnetisierung jeweils einem dritten bzw. einem vierten Eingang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls (7) zugeführt sind, und daß der Ausgang des Feldorientierungs- und Stromregelungs-Moduls (7) mit einem ersten Eingang einer Umschaltelogik (9) verbunden ist, und daß ein Ausgang der Timereinheit (10) mit einem zweiten Eingang des Stromanstiegsrechners (6) verbunden ist, und daß ein dritter Ausgang der übergeordneten Steuerung (5) mit dem Eingang eines Umrichteransteuerzustands-Bildners (11) sowie mit einem zweiten Eingang des Flußwinkelrechners (8) verbunden ist, und daß der Ausgang des Umrichteransteuerzustands-Bildners (11) mit einem zweiten Eingang der Umschaltelogik (9) verbunden ist, wobei die Umschaltelogik (9) von der übergeordneten Steuerung (5) angesteuert ist, und daß der Ausgang der Umschaltelogik mit dem Eingang eines Ansteuerungsmoduls (12) des Umrichters (1) verbunden ist.

20. Schaltungsanordnung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Verbindung zwischen Flußwinkelrechner (8) und Feldorientierungs- und Stromregelungs-Modul (7) über ein dynamisches Asynchronmotor-Modell (13) geführt ist, und daß die Drehzahl bzw. das Lastmoment von einem ersten bzw. einem zweiten Ausgang des dynamischen Asynchronmotor-Modells 13 über eine erste bzw. eine zweite Leitung (16, 17) einem oder mehreren überlagerten Regelkreisen zugeführt und eingebunden sind.

Hiezu 1 Blatt Zeichnung

