

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1282/90

(51) Int.Cl.⁵ : H02P 7/63
H02M 7/527

(22) Anmeldetag: 13. 6.1990

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 2.1993

(45) Ausgabetag: 25.10.1993

(56) Entgegenhaltungen:

EP-050259240

(73) Patentinhaber:

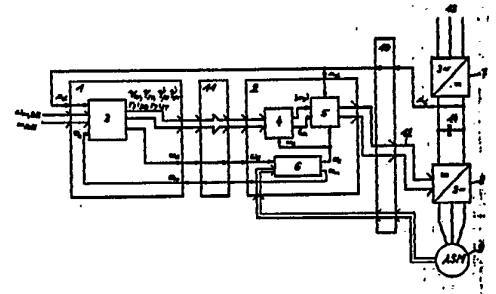
ELIN ENERGIEANWENDUNG GES.M.B.H.
A-1141 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

SCHIFTNER KARL DIPL.ING. DR.TECHN.
WIEN (AT).
TRENNER ANDREAS DIPL.ING.
WIEN (AT).
WEINMANN RAINER DIPL.ING.
MÖDLING, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) REGELUNGSSYSTEM FÜR EINEN SPANNUNGSZWISCHENKREISUMRICHTER DER EINE ASYNCHRONMASCHINE SPEIST

(57) Bei einem Regelungssystem für einen Spannungswischenkreisumrichter sind zwei Mikroprozessoren (1, 2), von denen einer als Regelungsprozessor (1) und der andere als Pulsmusterprozessor (2) arbeitet, mit dazwischen angeordneter Übergabeeinheit (11), vorgesehen. Während eines jeden Rechenzyklusses (T_I), berechnet der Pulsmusterprozessor (2) aus der erfaßten Drehzahl der Asynchronmaschine (9) die mechanische Kreisfrequenz (Ω_m), welche in beiden Mikroprozessoren (1, 2) abgelegt wird. Der Regelungsprozessor (1) berechnet aus dieser Kreisfrequenz (Ω_m), der vorher ausgewerteten Zwischenkreisspannung (u_d) und dem Sollwert für Drehmoment (m_{Soll}) oder Drehzahl ($\Omega_{m, Soll}$) mit einem nachgebildeten Flußrechner, einem nachgebildeten Begrenzungsrechner, einem nachgebildeten Stromkomponenten- und einem nachgebildeten Spannungskomponentenrechner die Teilkomponenten der Statorspannungen ($r_s i_{Sx}$; $r_s i_{Sy}$; $\Psi_s \cdot S_x$; $\Psi_s \cdot S_y$), die Statorflußkomponenten (Ψ_{Sx} , Ψ_{Sy}) und die Rotorkreisfrequenz (Ω_R). Der Pulsmusterprozessor (2) ermittelt danach aus diesen Teilkomponenten und der aktuellsten mechanischen Kreisfrequenz (Ω_m) die drehfeldfesten Statorspannungskomponenten (u_{Sx} , u_{Sy}) und legt mit der aktuellsten ausgewerteten Zwischenkreisspannung (u_d) das Pulsmuster fest. Mit diesem neuen Regelungssystem werden kleine Totzeiten, kleine Abtastzeiten und optimale Anregelzeiten bei Belastung erreicht.



AT 396 639 B

Die Erfindung betrifft ein Regelungssystem für einen Spannungszwischenkreisumrichter der eine Asynchronmaschine speist, bestehend aus Mikroprozessoren, wobei einer die Pulsmuster erzeugt.

Die bekannten Asynchronmaschinenantriebe mit Anschmittsteuerung sind aufgrund der im Läufer der Maschine anfallenden Verluste nur auf kleine Leistungen beschränkt. Die direktumrichtergespeiste Asynchronmaschine wird im höchsten Leistungsbereich bei kleinen bis mittleren Ständerfrequenzen und Drehzahlen eingesetzt. Von großer technischer Bedeutung sind die Zwischenkreisumrichter in ihren verschiedenen Ausbildungsformen als unter- und übersynchrone Stromrichtererkaskade und als Stromzwischenkreis- und Spannungszwischenkreisumrichter.

Auch bei den Bahnantrieben ist der Trend vom Kommutatormotor zum Drehstrommotor unverkennbar. Bei den Antrieben mit Kommutatormaschinen kommen der Einphasenreihenschlußmotor mit Hochspannungsschaltwerk, der Mischstrommotor mit Anschmittsteuerung bei der Vollbahn und der Gleichstrommotor mit Niederspannungsschaltwerk oder Gleichstromsteller im Nahverkehr zur Anwendung. Die U-Bahn-Triebwagen im Nahverkehr werden in Drehstromtechnik mit Phasenfolgewechselrichter ausgeführt.

Die moderne Stromrichtertechnik wäre ohne die enormen Fortschritte in der Informationselektronik nicht denkbar. Analoge Schaltkreise, wie Verstärker, Multiplizierer, Dividierer und Komparatoren, aber auch die digitalen Logikbausteine, vor allem Zähler, Speicher und Multiplexer, wurden schon früh eingesetzt. Mit den Schaltkreisen und den Logikbausteinen konnten verhältnismäßig komplexe Stromrichterregelungen, wie z. B. für eine Drehstromasynchronmaschine, mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand verwirklicht werden.

Vor rund zehn Jahren wurde aufgezeigt, daß sich Stromrichter recht gut mit Mikroprozessoren steuern lassen. Diese Technik ist allerdings erst heute wirtschaftlich vertretbar geworden.

In der EP-OS 0 259 240 ist ein Verfahren und eine Einrichtung zur Steuerung eines zwangskommutierten Umrichters beschrieben. Dabei steht ein Signalprozessor in Verbindung mit einem Speicher in dem verschiedene Muster zur Erzeugung von pulsbreitenmodulierten Signalformen in einem weiten Bereich für verschiedene Frequenzen abgespeichert sind. Dadurch kann für jeden Betriebspunkt eine vorteilhafte Aufhebung der harmonischen Schwingungen erreicht werden. Eine in dieser EP-OS erwähnte weitere Einrichtung besteht dabei aus drei Mikroprozessoren zur Bildung des pulsbreitenmodulierten Signales und ein vierter ist zur Synchronisation der drei anderen und der Erzeugung einer Phasenverschiebung vorgesehen.

Der Wirkungsgrad stromrichtergespeister Drehstromantriebe wird aufgrund des hohen Stromrichterwirkungsgrades, der zwischen 90 % und 95 % liegt, vor allem durch den Motor bestimmt.

Durch geeignete Spannungspulsmuster ist es möglich, den Verlauf des Ständerflusses gut an die ideale Kreisbahn anzunähern. Dadurch werden die Verzerrungsstreuflüsse und damit die Verzerrungsströme extrem klein gehalten.

Allgemein kann gesagt werden, daß beim Spannungszwischenkreisumrichter noch einige Verbesserungen der heute üblichen Pulsverfahren vorgenommen werden müssen, um im Bereich der Nenndrehzahl bessere Gesamtwirkungsgrade zu erzielen als beim Stromzwischenkreisumrichter.

Bei hochdynamischen Antrieben kommen aufgrund der geforderten Reaktionszeiten nur Antriebe mit Spannungszwischenkreisumrichtern zur Anwendung.

Die Aufgabe der Erfindung besteht nun darin, ein Regelungssystem mit hoher Dynamik zu schaffen, dessen Gesamtaufwand, durch Einschränkung der Anzahl der notwendigen Meßgrößen, wesentlich verringert wird.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst. Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß zwei Mikroprozessoren, von denen einer als Regelungsprozessor und der andere als Pulsmusterprozessor für zeitkritische Berechnungen arbeitet, mit dazwischen angeordneter Übergabeeinheit, vorzugsweise ein Dual-Port-RAM, vorgesehen sind, und daß während eines jeden Rechenzyklusses, welcher die Zeit zwischen zwei Interruptimpulsen ist, der Pulsmusterprozessor aus einem in einem Zähler befindlichen Wert, der proportional der mit einem Aufnehmer erfaßten Drehzahl der Asynchronmaschine ist, die mechanische Kreisfrequenz der Asynchronmaschine berechnet und in diesem sowie im Regelungsprozessor ablegt, und dieser aus dieser Kreisfrequenz, der in diesem Prozessor während dieses Rechenzyklusses vorher ausgewerteten Zwischenkreisspannung und dem einer Prozeßführung entnommenen Sollwert für Drehmoment oder Drehzahl mit einem nachgebildeten Flußrechner mit vorgeschalteter Flußvorgabe, einem nachgebildeten Begrenzungsrechner, einem nachgebildeten Stromkomponenten- und einem nachgebildeten Spannungskomponentenrechner, wobei die nachgebildeten Rechner in vorgenannter Reihenfolge abgearbeitet werden, die Werte für die Teilkomponenten der Statorspannungen, die Statorflußkomponenten und die Rotorkreisfrequenz berechnet, und diese Werte in der Übergabeeinheit abgespeichert werden, und daß der Pulsmusterprozessor nach der Berechnung der mechanischen Kreisfrequenz aus den Teilkomponenten der Statorspannungen, den Statorflußkomponenten, der Rotorkreisfrequenz und der aktuellsten mechanischen Kreisfrequenz über die Berechnung der Statorkreisfrequenz die drehfeldfesten Statorspannungskomponenten ermittelt und mit der aktuellsten ausgewerteten Zwischenkreisspannung die Umschaltzeitpunkte der Halbleiterschalt Elemente des Wechselrichters des Umrichters bzw. das Pulsmuster berechnet, und daß während eines ersten Rechenzyklusses die Drehzahl der Asynchronmaschine im Zähler erfaßt wird, während eines zweiten Rechenzyklusses die mechanische Kreisfrequenz aus dem Zählerwert berechnet und im Regelungsprozessor abgelegt wird, und dieser die Werte für die Teilkomponenten der Statorspannungen, die Statorflußkomponenten und die Rotorkreisfrequenz berechnet, während

eines dritten Rechenzyklusses im Pulsmusterprozessor mit den vorher im Regelungsprozessor berechneten Werten und der in diesem Zyklus ermittelten mechanischen Kreisfrequenz und ausgewerteten Zwischenkreisspannung die Umschaltzeitpunkte der Halbleiterschaltenelemente des Wechselrichters bzw. das Pulsmuster festlegt, welche bzw. welches bei einem vierten Rechenzyklus im Wechselrichter berücksichtigt werden. Der Hardwareaufwand bei diesem neuen Regelungssystem ist sehr gering. Außerdem werden kleine Totzeiten und kleine Abtastzeiten erreicht. Auch optimale Anregelzeiten bei Belastung können erreicht werden. Weiters ist durch die Arbeitsaufteilung auch eine optimale Prozessoraufteilung möglich.

Von Vorteil ist, daß die nachgebildete Flußvorgabe aus einem Glättungsglied, an welches die ausgewertete Zwischenkreisspannung gelangt, besteht, dem ein Dividierer nachgeschaltet ist, der die geglättete Zwischenkreisspannung durch den über einen Betragbildner ermittelten Betrag der Statorkreisfrequenz dividiert, und daß dem Dividierer ein Komparator folgt, der zwei Umschalter steuert, von denen an einem der Betrag der Statorkreisfrequenz für den Feldschwächbereich und ein konstanter Wert für den Konstantfeldbereich gelangt, wobei das Ausgangssignal dieses ersten Umschalters mit einem Spannungsfaktor multipliziert wird, und daß ein Dividierer die geglättete Zwischenkreisspannung durch das mit dem Spannungsfaktor multiplizierte Ausgangssignal des ersten Umschalters dividiert, und daß dem zweiten Umschalter das Ausgangssignal dieses Dividierers und der Kehrwert des Spannungsfaktors zugeführt wird, dessen Ausgangssignal über einen Quadrierer an eine Subtraktionsstelle gelangt, der die ebenfalls quadrierte maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente zugeführt wird, und daß am Ausgang eines Radizierers, der mit der Subtraktionsstelle verbunden ist, der Sollwert der feldbildenden Komponente des Statorflusses auftritt. Eine Umschaltung zwischen Konstantfeldbereich und Feldschwächbereich ist von der Zwischenkreisspannung und der Statorfrequenz abhängig. Durch die nachgebildete Flußvorgabe ist dabei eine optimale Spannungsausnutzung möglich. Der Spannungsfaktor bietet die Möglichkeit für die Flußvorgabe den Statorwiderstand zu berücksichtigen. Der Spannungsfaktor beinhaltet auch eine Spannungsreserve für dynamische Vorgänge.

Nach einer Ausgestaltung der Erfindung besteht der nachgebildete Flußrechner aus einem Glättungsglied, dem die feldbildende Statorflußkomponente multipliziert mit einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität dividiert durch die Statorinduktivität ist, zuführbar ist, und diese Größe mit dem Ausgangssignal des Glättungsgliedes, welches die Rotorflußkomponente ist, verknüpft wird, und daß diese Größe multipliziert mit dem Kehrwert des Streufaktors die mit der Rotorzeitkonstante bewertete Ableitung des Rotorflusses ist, und daß die Verzögerungszeit des Glättungsgliedes die subtransiente Rotorzeitkonstante, die der rotorseitigen Streureaktanz dividiert durch den den Betriebsbedingungen entsprechend nachgeführten Rotorwiderstand entspricht, ist. Damit wird die Differentialgleichung für den Rotorfluß auf einfache Weise gelöst. Bei Ausführung in Analogtechnik würde man zur Lösung der Differentialgleichung aufwendige Rechenregelkreise benötigen. Außer der Rotorflußkomponente wird auch die Änderung dieser ermittelt.

Eine Weiterbildung der Erfindung besteht darin, daß der nachgebildete Begrenzungsrechner einen Multiplizierer aufweist, der den quadrierten Betrag des Statorflusses mit einer maschinenabhängigen Konstante multipliziert und dieser Wert der das Kippmoment darstellt, durch die Rotorflußkomponente dividiert und anschließend mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität dividiert durch die Hauptinduktivität ist, multipliziert wird, und diese Größe die einer Minimalwertauswahl zuführbare in der Nähe des Kippunktes für konstante Rotorkreisfrequenz gültige momentenbildende Statorstromkomponente ist, und daß die radizierte Differenz aus dem quadrierten maximal möglichen Statorstrom und der quadrierten feldbildenden Statorstromkomponente ebenfalls der Minimalwertauswahl zuführbar ist, und daß am Ausgang der Minimalwertauswahl immer die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente auftritt, welche multipliziert mit der statorseitigen Streureaktanz die maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente ergibt, und daß die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente multipliziert mit der Rotorflußkomponente und einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität dividiert durch die Rotorinduktivität ist, das maximal mögliche Drehmoment ist. Durch den Begrenzungsrechner wird verhindert, daß unzulässige Werte des Statorstromes auftreten.

Vorteilhaft ist ferner, daß der nachgebildete Stromkomponentenrechner zur Rotorflußkomponente die mit der Rotorzeitkonstante bewertete Ableitung des Rotorflusses addiert und dieser Wert dividiert durch die Hauptinduktivität die feldbildende Statorstromkomponente ist, und daß die Rotorflußkomponente einem Magnetisierungskennliniennachbildner zuführbar ist, der an den beiden Ausgängen die Hauptinduktivität und die Statorinduktivität liefert, und daß der über einen Anstiegsbegrenzer geführte Drehmomentsollwert dividiert durch die Rotorflußkomponente und anschließender Multiplikation mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität dividiert durch die Hauptinduktivität ist, die momentenbildende Statorstromkomponente ist, und daß der Wert des durch die Rotorflußkomponente dividierten anstiegsbegrenzten Drehmomentsollwertes multipliziert mit einer Maschinengröße, die die Streuinduktivität des Rotorfeldes dividiert durch die Hauptinduktivität ist, und der Statorinduktivität die drehmomentbildende Statorflußkomponente ergibt, und daß der Wert dividiert durch die Rotorflußkomponente und anschließender Multiplikation mit dem Rotorwiderstand die Rotorkreisfrequenz darstellt. Bei der Berechnung der feldbildenden Statorstromkomponente wird eine Sättigung angenommen, durch welche die Sättigung des Haupt-

feldes berücksichtigt ist. Weiters wird hier die Rotorkreisfrequenz sehr exakt den tatsächlichen Betriebsbedingungen nachgebildet.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, daß der nachgebildete Spannungskomponentenrechner im Regelungsprozessor die feldbildende und die momentenbildende Statorstromkomponente mit dem Statorwiderstand multipliziert, und daß die, feldbildende, sowie die drehmomentbildende Statorflußkomponente je einem Differentiator zuführbar ist. Hier wird der Statorwiderstand berücksichtigt, wodurch auch bei kleinen Frequenzen eine hohe Genauigkeit erreicht wird. Außerdem erfolgt die Differentiation mit geringem Aufwand.

Letztlich ist noch von Vorteil, daß der Anstiegsbegrenzer bei jeder Eingangsänderung, insbesondere einer sprunghaften, am Ausgang den Eingangswert in Stufen, deren Anzahl durch die Zahl von wählbaren Abtastschritten vorgegeben ist, erreicht, wobei der Hub der ersten und der letzten Stufe nur die Hälfte der dazwischenliegenden beträgt. Dadurch wird der Drehmomentsollwert derart begrenzt, daß die im Stromkomponentenrechner berechneten Größen und die danach berechneten zeitlichen Ableitungen dieser Größen bestmöglich zusammenpassen.

An Hand der Zeichnungen wird die Erfindung nun noch näher erläutert. Die Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild des Regelungssystems, welches an einen Umrichter angeschlossen ist, der eine Asynchronmaschine speist, die Fig. 2 zeigt den Verfahrensablauf des Regelungssystems, Fig. 3 stellt die Flußvorgabe dar, Fig. 4 zeigt den Flußrechner, aus Fig. 5 ist der Begrenzungsrechner entnehmbar, Fig. 6 zeigt den Verlauf des Drehmomentes über der Drehzahl in den verschiedenen Bereichen, Fig. 7 stellt den Stromkomponentenrechner dar, aus Fig. 8 geht der nachgebildete Spannungskomponentenrechner hervor und die Fig. 9 zeigt das Raumzeigerdiagramm einer Asynchronmaschine.

Die Fig. 1 zeigt eine über einen Umrichter (7), (8) gespeiste Asynchronmaschine (9). Der Umrichter (7), (8), ein Spannungszwischenkreisumrichter, besteht aus einem Gleichrichter (7) und einem Wechselrichter (8). Der Gleichrichter (7) ist am Drehstromnetz (13) angeschlossen und der Wechselrichter (8) ist mit der Asynchronmaschine (9) verbunden. Im Spannungszwischenkreis ist ein Kondensator (14) zur Glättung vorgesehen. Das Regelungssystem besteht aus zwei Prozessoren (1), (2) mit dazwischen angeordneter Übergabeeinheit (11), in welche ein- und ausgelesen werden kann. Im Regelungsprozessor (1) sind die Flußvorgabe und die nachgebildeten Rechner abgelegt, welche der Fluß-, der Begrenzungs-, der Stromkomponenten- und der Spannungskomponentenrechner sind. Dies ist mit dem Block (3) symbolisiert. Dem Regelungsprozessor (1) wird auch von einer Prozeßführung der Sollwert für Drehmoment (m_{Soll}) oder Drehzahl ($\omega_{m,Soll}$), die Zwischenkreisspannung (u_d) und vom Pulsmusterprozessor (2) die mechanische Kreisfrequenz (ω_m) zugeführt. Der Pulsmusterprozessor (2) führt die Drehzahlauswertung durch und ermittelt die dem Regelungsprozessor (1) übergebene mechanische Kreisfrequenz (ω_m) und die Statorkreisfrequenz (ω_s). Dies ist mit dem Block (6) dargestellt, der vom Regelungsprozessor (1) die berechnete Rotorkreisfrequenz (ω_R) erhält. In diesem Prozessor (2) werden auch die Polarkoordinaten des Statorspannungszeigers (u_s) aus den Teilkomponenten der Statorspannung (r_{SiSx}, r_{SiSy}), den Änderungen des Statorflusses ($\dot{\psi}_{Sx}, \dot{\psi}_{Sy}$), den Statorflußkomponenten (ψ_{Sx}, ψ_{Sy}), der Rotorkreisfrequenz (ω_R) und der aktuellsten mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) im Block (4) berechnet. Diese Koordinaten werden dem Pulsmusterbildner (5) zugeführt, der daraus mit der Zwischenkreisspannung (u_d) und der Statorkreisfrequenz (ω_s) das Pulsmuster bzw. die Umschaltzeitpunkte für die Halbleiter des Wechselrichters (8) festlegt. Die Ausgangssignale (12) des Pulsmusterbildners (5) die das Pulsmuster sind, gelangen sodann über eine Ein-/Ausgabeeinheit (10) an den Wechselrichter (8).

Beim Verfahrensablauf in Fig. 2 sind die einzelnen Rechenzyklen mit (T_I) bezeichnet, welche die Zeiträume zwischen zwei Interruptimpulsen (20) sind, und die Erfassung der Drehzahlimpulse (21), sowie die Messung der Zwischenkreisspannung (u_d) sind als Block (22), (23) dargestellt.

In dieser Fig. stellt der obere Balken die Prozeßführung (24) dar, an welche die mechanische Kreisfrequenz (ω_m) gelangt und die den Sollwert, entweder die Drehzahl ($\omega_{m,Soll}$) oder das Drehmoment (m_{Soll}), abgibt. Darunter sind die im Regelungsprozessor (1) stattfindenden Berechnungen schematisch als Blöcke (1_1), (1_2) zu sehen, wobei die Länge der einzelnen Blöcke (1_1), (1_2) die ungefähre Berechnungszeit angibt. Im Pulsmusterprozessor (2) sind ebenfalls mit zwei Blöcken (2_1), (2_2) die Berechnungsvorgänge dargestellt.

Weiters wird nun kurz der Berechnungsablauf und die Kommunikation zwischen den beiden Prozessoren (1), (2) erklärt. Die Drehzahlimpulse (21) werden während der Zeit (T_n) gezählt und daraus wird im Pulsmusterprozessor (2) in (2_1) die mechanische Kreisfrequenz (ω_m) berechnet, welche über die Übergabeeinheit dem Regelungsprozessor (1) zugeführt wird. In diesem Rechenzyklus (T_{I2}) wird vorher die im vorhergehenden Zyklus (T_{I1}) gemessene Zwischenkreisspannung (u_d) aufbereitet. Mit der aufbereiteten Zwischenkreisspannung (u_d), dem Sollwert (m_{Soll}) und der mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) werden in (1_1) die Teilkomponenten der Statorspannungen ($r_{SiSx}, r_{SiSy}, \dot{\psi}_{Sx}, \dot{\psi}_{Sy}$), die Statorflußkomponenten (ψ_{Sx}, ψ_{Sy}), und die Rotorkreisfrequenz (ω_R) ermittelt. Diese Werte werden dem Pulsmusterprozessor (2) übergeben. Im nächsten Rechenzyklus (T_{I3}) wird nach der Ermittlung der mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) mit dieser, der aktuellsten Zwischenkreisspannung (u_d) und den vom Regelungsprozessor (1) übergebenen Werten die drehfeldfesten Statorspannungskomponenten (u_{Sx}), (u_{Sy}) berechnet. Nach einer Umwandlung der Statorspannungskomponenten (u_{Sx}), (u_{Sy}) in Polarkoordinaten wird im nächsten Rechenzyklus (T_{I4}) das neue bzw. geänderte Pulsmuster ausgegeben. Dies ist durch den Block (25) dargestellt.

Die nachgebildete Flußvorgabe in Fig. 3 besteht aus einem Glättungsglied (30), an welches die ausgewertete Zwischenkreisspannung (u_d) gelangt. Diesem ist ein Dividierer (31) nachgeschaltet, der die geglättete Zwischenkreisspannung (u_d') durch den über einen Betragbildner (32) ermittelten Betrag der Statorkreisfrequenz (ω_S) dividiert. Dem Dividierer (31) folgt ein Komparator (33), der zwei Umschalter (34), (35) steuert, von denen an einem der Betrag der Statorkreisfrequenz (ω_S) für den Feldschwächbereich (FSB) und ein konstanter Wert (1) für den Konstantfeldbereich (KSB) gelangt. Das Ausgangssignal dieses ersten Umschalters (34) wird sodann mit einem Spannungsfaktor (k) multipliziert, der eine Spannungsreserve von 5 % berücksichtigt. Die geglättete Zwischenkreisspannung (u_d) wird von einem Dividierer (36) durch das mit dem Spannungsfaktor (k) multiplizierte Ausgangssignal des ersten Umschalters (34) dividiert. Dem zweiten Umschalter (35) wird das Ausgangssignal dieses Dividierers (36) und der Kehrwert des Spannungsfaktors (k) zugeführt. Das Ausgangssignal dieses Umschalters (35) gelangt danach über einen Quadrierer (37) an eine Subtraktionsstelle (38), der die ebenfalls quadrierte maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente ($\psi_{Sy,max}$) zugeführt wird. Am Ausgang eines Radizierers (39), der mit der Subtraktionsstelle (38) verbunden ist, tritt der Sollwert der feldbildenden Komponente des Statorflusses (ψ_{Sx}) auf. In der gezeichneten Stellung der beiden Umschalter (34), (35) werden die Signale für den Feldschwächbereich (FSB) durchgeschaltet. Durch diese Flußvorgabe bleibt der Betrag des Statorflusses im Konstantfeldbereich (KFB) konstant und im Feldschwächbereich (FSB) nimmt er umgekehrt proportional zur Statorkreisfrequenz (ω_S) ab.

Der nachgebildete Flußrechner in Fig. 4 besteht aus einem Glättungsglied (50), dem die feldbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sx}) multipliziert mit einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität (l_h) dividiert durch die Statorinduktivität (l_S) ist, zuführbar ist. Diese Größe wird mit dem Ausgangssignal des Glättungsgliedes, welches die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) ist, verknüpft. Diese weitere Größe ($T_R \cdot \dot{\psi}_{Rx}$) ergibt multipliziert mit dem Kehrwert des Streufaktors (σ) die mit der Rotorzeitkonstante (T_R) bewertete Ableitung des Rotorflusses ($\dot{\psi}_{Rx}$). Die Verzögerungszeit des Glättungsgliedes (50) ist dabei die subtransiente Rotorzeitkonstante (T_R'') die der rotorseitigen Streureaktanz (σ_R) dividiert durch den den Betriebsbedingungen entsprechend nachgeführten Rotorwiderstand (r_R) entspricht.

Der nachgebildete Begrenzungsrechner, welcher der Fig. 5 entnehmbar ist, weist einen Multiplizierer (60) auf, der den quadrierten Betrag des Statorflusses ($|\psi_S|$) mit einer maschinenabhängigen Konstante multipliziert. Dieser Wert der das Kippmoment (m_{Kipp}) darstellt wird durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) dividiert und anschließend mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität (l_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, multipliziert. Diese Größe ist die einer Minimalwertauswahl (61) zuführbare in der Nähe des Kippunktes für konstante Rotorkreisfrequenz gültige momentenbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,Kipp}$). Weiters wird die radizierte Differenz aus dem quadrierten maximal möglichen Statorstrom (i_{Smax}) und der quadrierten feldbildenden Statorstromkomponente (i_{Sx}) ebenfalls der Minimalwertauswahl (61) zugeführt. Am Ausgang der Minimalwertauswahl (61) tritt immer die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,max}$) auf, welche multipliziert mit der statorseitigen Streureaktanz (σ_S) die maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente ($\psi_{Sy,max}$) ergibt. Die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,max}$) multipliziert mit der Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität (l_h) dividiert durch die Rotorinduktivität (l_R) ist, ist das maximal mögliche Drehmoment (m_{max}).

Die Fig. 6 zeigt den prinzipiell angestrebten Verlauf des erzeugten Drehmomentes (m) über der Drehzahl bzw. mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) für die Drehstrom-Asynchronmaschine. Im Bereich konstanten Feldes (KFB) ist der Rotorfluß (ψ_R) und das innere Moment (m_i) konstant. Bei konstantem Moment ist daher auch der Statorfluß (ψ_S) konstant. Nach Eintritt in den Feldschwächbereich (FSB) wird die zulässige Statorstromkomponente (i_{Sy}) so berechnet, daß die abgegebene Leistung der Asynchronmaschine näherungsweise konstant ist. Das Moment nimmt daher näherungsweise proportional mit ($1/\omega_m$) ab. Bei Erreichen des Kippschlupfes (70), dessen Wert von der jeweiligen Maschine abhängt, wird die Rotorkreisfrequenz (ω_R) konstant gehalten, wobei das Moment mit ($1/\omega_m^2$) abnimmt.

Bei dem nachgebildeten Stromkomponentenrechner in Fig. 7 wird zur Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) die mit der Rotorzeitkonstante (T_R) bewertete Ableitung des Rotorflusses ($\dot{\psi}_{Rx}$) addiert. Dieser Wert dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist die feldbildende Statorstromkomponente (i_{Sx}). Die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) ist einem Magnetisierungskennliniennachbildner (80) zuführbar, der an den beiden Ausgängen die Hauptinduktivität (l_h) und die Statorinduktivität (l_S) liefert. Der über einen Anstiegsbegrenzer (81) geführte Drehmomentsollwert (m_{Soll}) dividiert durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und anschließender Multiplikation mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität (l_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, ergibt die momentenbildende Statorstromkomponente (i_{Sy}). Der Wert des durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) dividierten anstiegsbegrenzten Drehmomentsollwertes (m_{Soll}) wird mit einer Maschinengröße, die die Streuinduktivität des Rotorfeldes (σ_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, und der Statorinduktivität (l_S) multipliziert, wodurch sich die drehmomentbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sy}) ergibt. Weiters stellt der Wert dividiert durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und anschließender Multiplikation mit dem Rotorwiderstand (r_R) die Rotorkreisfrequenz (ω_R)

dar. Der Anstiegsbegrenzer (81) erreicht bei jeder Eingangsänderung, insbesondere einer sprunghaften, am Ausgang den Eingangswert in Stufen, deren Anzahl durch die Zahl von wählbaren Abtastschritten vorgegeben ist. Der Hub der ersten und der letzten Stufe beträgt dabei nur die Hälfte der dazwischenliegenden Stufen.

Der in Fig. 8 ersichtliche nachgebildete Spannungskomponentenrechner im Regelungsprozessor (1) multipliziert die feldbildende und die momentenbildende Statorstromkomponente (i_{Sx}), (i_{Sy}) mit dem Statorwiderstand (r_S). Die feldbildende, sowie die drehmomentbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sx}), (ψ_{Sy}) ist hier je einem Differentiator (100), (101) zuführbar. Aus den dem Pulsmusterprozessor (2) übergebenen Werten ($r_S i_{Sx}$, $r_S i_{Sy}$, $\dot{\psi}_{Sx}$, $\dot{\psi}_{Sy}$, ψ_{Sx} , ψ_{Sy} , ω_R) ermittelt dieser die Statorspannungskomponenten (u_{Sx}), (u_{Sy}).

Im in Fig. 9 dargestellten Raumzeigerdiagramm ist das drehfeldfeste Koordinatensystem (x , y) eingezeichnet. Die x -Achse ist hier in Richtung des Rotorflusses (ψ_R) angenommen, wodurch die feldbildende Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) dem Rotorfluß (ψ_R) entspricht. Die momentenbildende Komponente (ψ_{Ry}) ist dabei 0. Dies ist eine Annahme die auch für das Regelungssystem gilt.

Weiters ist in diesem Raumzeigerdiagramm das Statorkoordinatensystem (α), (β) eingezeichnet, sowie der mitlaufende Winkel (ϕ_1), welcher ($\omega_S t$) ist. In diesem Diagramm ist auch noch der Statorspannungszeiger (u_S), der Statorstromzeiger (i_S), der Rotorstromzeiger (i_R), der Magnetisierungsstromzeiger (i_m), der Hauptflußzeiger (ψ_h) und der Statorflußzeiger (ψ_S) dargestellt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Regelungssystem für einen Spannungszwischenkreisumrichter der eine Asynchronmaschine speist, bestehend aus Mikroprozessoren, wobei einer die Pulsmuster erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Mikroprozessoren (1, 2), von denen einer als Regelungsprozessor (1) und der andere als Pulsmusterprozessor (2) für zeitkritische Berechnungen arbeitet, mit dazwischen angeordneter Übergabeeinheit (11), vorzugsweise ein Dual-Port-RAM, vorgesehen sind, und daß während eines jeden Rechenzyklusses (T_T), welcher die Zeit zwischen zwei Interruptimpulsen ist, der Pulsmusterprozessor (2) aus einem in einem Zähler befindlichen Wert, der proportional der mit einem Aufnehmer erfaßten Drehzahl der Asynchronmaschine (9) ist, die mechanische Kreisfrequenz (ω_m) der Asynchronmaschine (9) berechnet und in diesem, sowie im Regelungsprozessor (1) ablegt, und dieser aus dieser Kreisfrequenz (ω_m), der in diesem Prozessor (1) während dieses Rechenzyklusses (T_T) vorher ausgewerteten Zwischenkreisspannung (u_d) und dem einer Prozeßführung (24) entnommenen Sollwert für Drehmoment (m_{Soll}) oder Drehzahl ($\omega_{m,Soll}$) mit einem nachgebildeten Flußrechner mit vorgeschalteter Flußvorgabe, einem nachgebildeten Begrenzungsrechner, einem nachgebildeten Stromkomponenten- und einem nachgebildeten Spannungskomponentenrechner, wobei die nachgebildeten Rechner in vorgenannter Reihenfolge abgearbeitet werden, die Werte für die Teilkomponenten der Statorspannungen ($r_S i_{Sx}$; $r_S i_{Sy}$; $\dot{\psi}_{Sx}$; $\dot{\psi}_{Sy}$), die Statorflußkomponenten (ψ_{Sx} , ψ_{Sy}) und die Rotorkreisfrequenz (ω_R) berechnet, und diese Werte in der Übergabeeinheit (11) abgespeichert werden, und daß der Pulsmusterprozessor (2) nach der Berechnung der mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) aus den Teilkomponenten der Statorspannungen ($r_S i_{Sx}$; $r_S i_{Sy}$; $\dot{\psi}_{Sx}$; $\dot{\psi}_{Sy}$), den Statorflußkomponenten (ψ_{Sx} , ψ_{Sy}), der Rotorkreisfrequenz (ω_R) und der aktuellsten mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) über die Berechnung der Statorkreisfrequenz (ω_S) die drehfeldfesten Statorspannungskomponenten (u_{Sx} , u_{Sy}) ermittelt und mit der aktuellsten ausgewerteten Zwischenkreisspannung (u_d) die Umschaltzeitpunkte der Halbleiterschalt Elemente des Wechselrichters (8) des Umrichters (7, 8) bzw. das Pulsmuster berechnet, und daß während eines ersten Rechenzyklusses (T_{I1}) die Drehzahl der Asynchronmaschine (9) im Zähler erfaßt wird, während eines zweiten Rechenzyklusses (T_{I2}) die mechanische Kreisfrequenz (ω_m) aus dem Zählerwert berechnet und im Regelungsprozessor (1) abgelegt wird, und dieser die Werte für die Teilkomponenten der Statorspannungen ($r_S i_{Sx}$; $r_S i_{Sy}$; $\dot{\psi}_{Sx}$; $\dot{\psi}_{Sy}$), die Statorflußkomponenten (ψ_{Sx} , ψ_{Sy}) und die Rotorkreisfrequenz (ω_R) berechnet, während eines dritten Rechenzyklusses (T_{I3}) im Pulsmusterprozessor (2) mit den vorher im Regelungsprozessor (1) berechneten Werten und der in diesem Zyklus ermittelten mechanischen Kreisfrequenz (ω_m) und ausgewerteten Zwischenkreisspannung (u_d) die Umschaltzeitpunkte der Halbleiterschalt Elemente des Wechselrichters (8) bzw. das Pulsmusters festlegt, welche bzw. welches bei einem vierten Rechenzyklus (T_{I4}) im Wechselrichter (8) berücksichtigt werden.

2. Regelungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die nachgebildete Flußvorgabe aus einem Glättungsglied (30), an welches die ausgewertete Zwischenkreisspannung (u_d) gelangt, besteht, dem ein Dividierer

(31) nachgeschaltet ist, der die geglättete Zwischenkreisspannung (u_d') durch den über einen Betragsbildner (32) ermittelten Betrag der Statorkreisfrequenz (ω_S) dividiert, und daß dem Dividierer (31) ein Komparator (33) folgt, der zwei Umschalter (34, 35) steuert, von denen an einem der Betrag der Statorkreisfrequenz (ω_S) für den Feldschwächbereich und ein konstanter Wert (1) für den Konstantfeldbereich gelangt, wobei das Ausgangssignal dieses ersten Umschalters (34) mit einem Spannungsfaktor (k) multipliziert wird, und daß ein Dividierer (36) die geglättete Zwischenkreisspannung (u_d') durch das mit dem Spannungsfaktor (k) multiplizierte Ausgangssignal des ersten Umschalters (34) dividiert, und daß dem zweiten Umschalter (35) das Ausgangssignal dieses Dividierers (36) und der Kehrwert des Spannungsfaktors (k) zugeführt wird, dessen Ausgangssignal über einen Quadrierer (37) an eine Subtraktionsstelle (38) gelangt, der die ebenfalls quadrierte maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente ($\psi_{Sy,max}$) zugeführt wird, und daß am Ausgang eines Radizierers (39), der mit der Subtraktionsstelle (38) verbunden ist, der Sollwert der feldbildenden Komponente des Statorflusses (ψ_{Sx}) auftritt.

3. Regelungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der nachgebildete Flußrechner aus einem Glättungsglied (50) besteht, dem die feldbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sx}) multipliziert mit einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität (l_h) dividiert durch die Statorinduktivität (l_S) ist, zuführbar ist, und diese Größe mit dem Ausgangssignal des Glättungsgliedes, welches die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) ist, verknüpft wird, und daß diese Größe ($T_R \cdot \dot{\psi}_{Rx}$) multipliziert mit dem Kehrwert des Streufaktors (σ) die mit der Rotorzeitkonstante (T_R) bewertete Ableitung des Rotorflusses ($\dot{\psi}_{Rx}$) ist, und daß die Verzögerungszeit des Glättungsgliedes die subtransiente Rotorzeitkonstante (T_R'') die der rotorseitigen Streureaktanz (σl_R) dividiert durch den den Betriebsbedingungen entsprechend nachgeführten Rotorwiderstand (r_R) entspricht, ist.

4. Regelungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der nachgebildete Begrenzungsrechner einen Multiplizierer (60) aufweist, der den quadrierten Betrag des Statorflusses ($|\psi_S|^2$) mit einer maschinenabhängigen Konstante multipliziert und dieser Wert der das Kippmoment (m_{Kipp}) darstellt, durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) dividiert und anschließend mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität (l_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, multipliziert wird, und diese Größe die einer Minimalwertauswahl (61) zuführbare in der Nähe des Kippunktes für konstante Rotorkreisfrequenz gültige momentenbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,Kipp}$) ist, und daß die radizierte Differenz aus dem quadrierten maximal möglichen Statorstrom ($|i_S|_{max}$) und der quadrierten feldbildenden Statorstromkomponente (i_{Sx}) ebenfalls der Minimalwertauswahl (61) zuführbar ist, und daß am Ausgang der Minimalwertauswahl (61) immer die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,max}$) auftritt, welche multipliziert mit der statorseitigen Streureaktanz (σl_S) die maximal mögliche drehmomentbildende Statorflußkomponente ($\psi_{Sy,max}$) ergibt, und daß die maximal mögliche drehmomentbildende Statorstromkomponente ($i_{Sy,max}$) multipliziert mit der Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und einer Maschinengröße, welche die Hauptinduktivität (l_h) dividiert durch die Rotorinduktivität (l_R) ist, das maximal mögliche Drehmoment (m_{max}) ist.

5. Regelungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der nachgebildete Stromkomponentenrechner zur Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) die mit der Rotorzeitkonstante (T_R) bewertete Ableitung des Rotorflusses ($\dot{\psi}_{Rx}$) addiert und dieser Wert dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) die feldbildende Statorstromkomponente (i_{Sx}) ist, und daß die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) einem Magnetisierungskennliniennachbildner (80) zuführbar ist, der an den beiden Ausgängen die Hauptinduktivität (l_h) und die Statorinduktivität (l_S) liefert, und daß der über einen Anstiegsbegrenzer (81) geführte Drehmomentsollwert (m_{Soll}) dividiert durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und anschließender Multiplikation mit einer Maschinengröße, welche die Rotorinduktivität (l_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, die momentenbildende Statorstromkomponente (i_{Sy}) ist, und daß der Wert des durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) dividierten anstiegsbegrenzten Drehmomentsollwertes (m_{Soll}) multipliziert mit einer Maschinengröße, die die Streuinduktivität des Rotorfeldes (σl_R) dividiert durch die Hauptinduktivität (l_h) ist, und der Statorinduktivität (l_S) die drehmomentbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sy}) ergibt, und daß der Wert dividiert durch die Rotorflußkomponente (ψ_{Rx}) und anschließender Multiplikation mit dem Rotorwiderstand (r_R) die Rotorkreisfrequenz (ω_R) darstellt.

6. Regelungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der nachgebildete Spannungskomponentenrechner im Regelungsprozessor (1) die feldbildende und die momentenbildende Statorstromkomponente (i_{Sx}, i_{Sy}) mit dem Statorwiderstand (r_S) multipliziert, und daß die, feldbildende, sowie die drehmomentbildende Statorflußkomponente (ψ_{Sx}, ψ_{Sy}) je einem Differentiator (100, 101) zuführbar ist.

7. Regelungssystem nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Anstiegsbegrenzer (81) bei jeder Eingangsänderung, insbesondere einer Sprunghaften, am Ausgang den Eingangswert in Stufen, deren Anzahl durch die

AT 396 639 B

Zahl von wählbaren Abtastschritten vorgegeben ist, erreicht, wobei der Hub der ersten und der letzten Stufe nur die Hälfte der dazwischenliegenden beträgt.

5

Hiezu 6 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

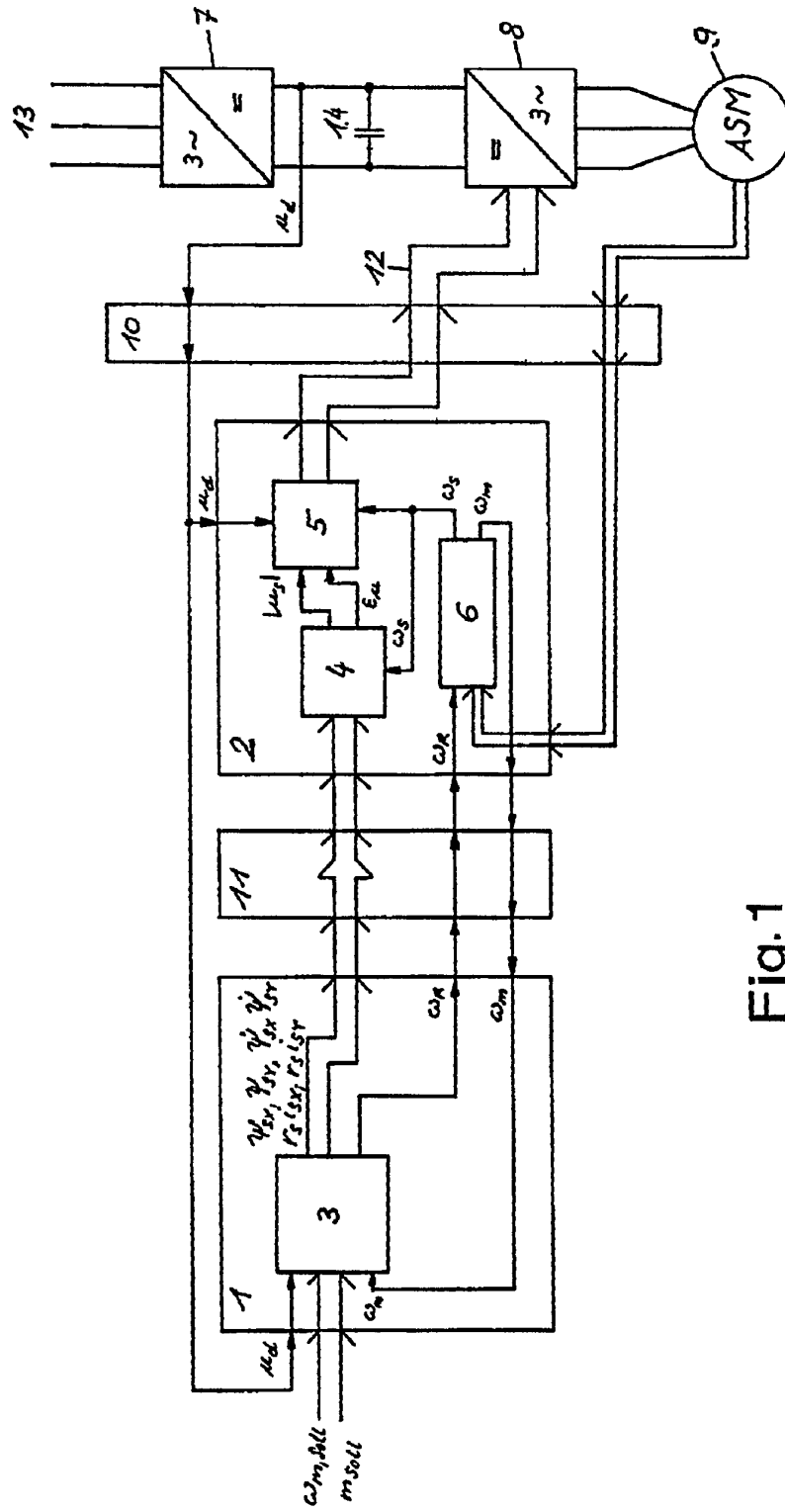


Fig. 1

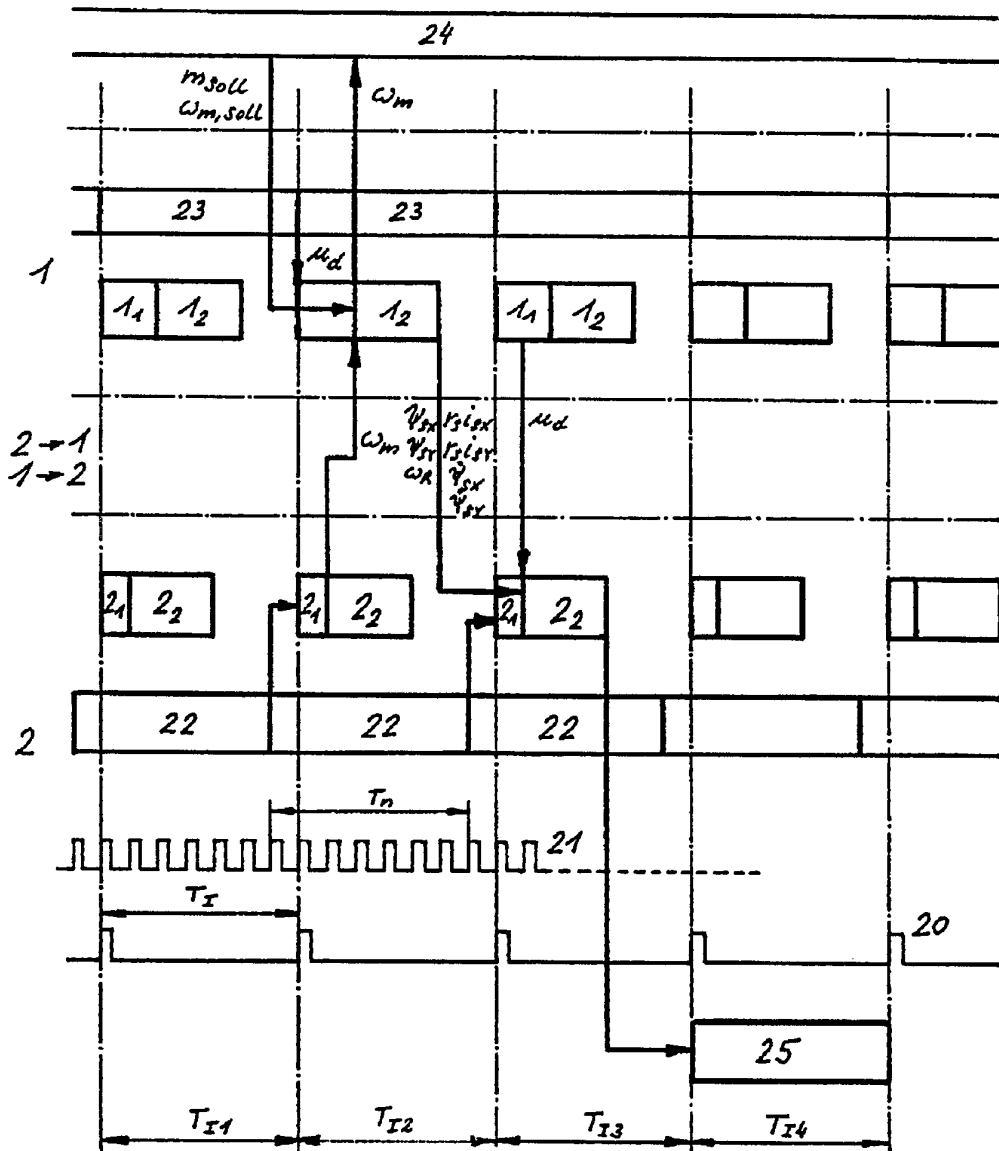


Fig. 2

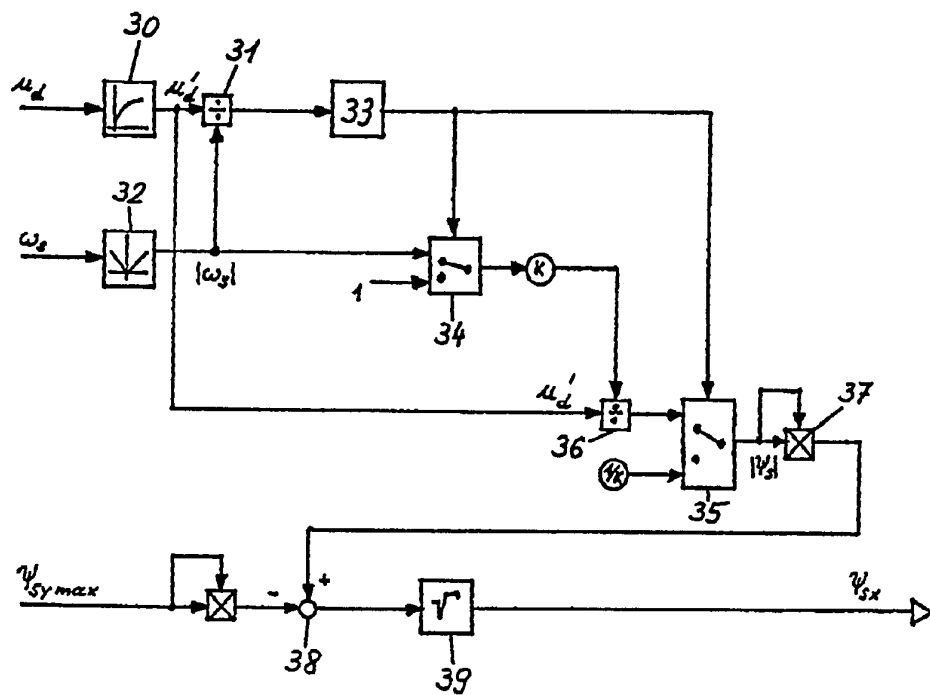


Fig. 3

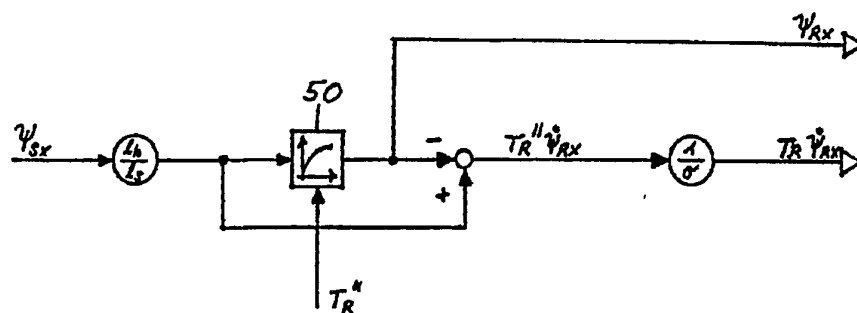


Fig. 4

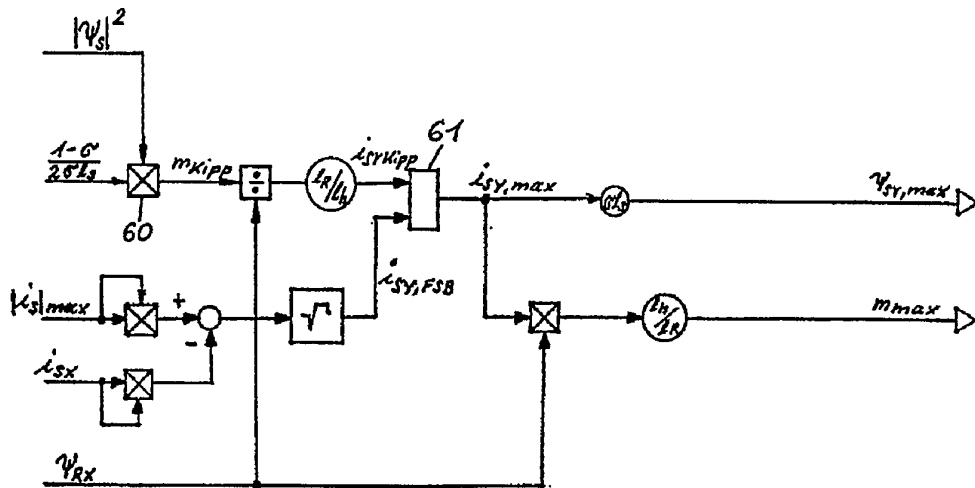


Fig. 5

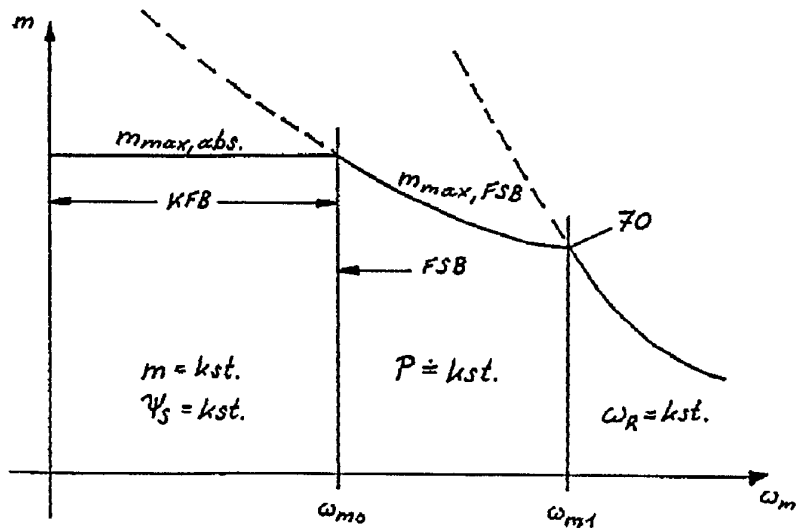


Fig. 6

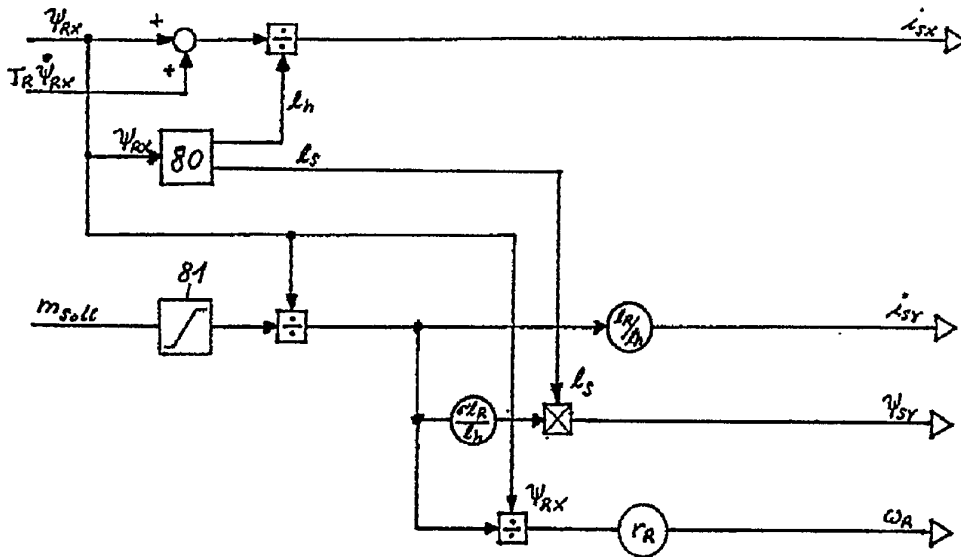


Fig. 7

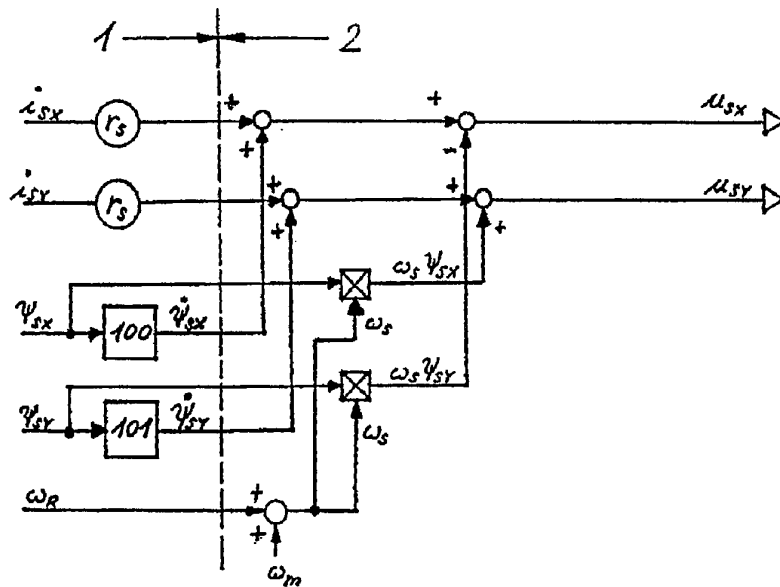


Fig. 8

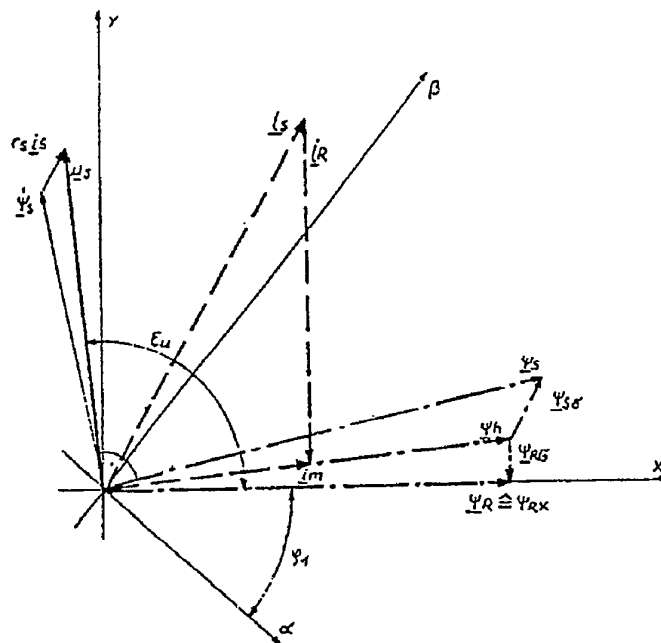


Fig.9