



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 36 603 T2 2007.09.20**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 944 164 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 36 603.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP97/04434**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 946 095.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/025335**

(86) PCT-Anmeldetag: **04.12.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **11.06.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.09.1999**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **30.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H02P 6/20 (2006.01)**
H02P 21/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

32534596 05.12.1996 JP

(73) Patentinhaber:

**Kabushiki Kaisha Yaskawa Denki, Kitakyushu,
Fukuoka, JP**

(74) Vertreter:

**Müller-Boré & Partner, Patentanwälte, European
Patent Attorneys, 81671 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, NL

(72) Erfinder:

**OGURO, Ryuichi-Kabushiki Kaisha Yaskawa Den,
Kitakyushu-shi, Fukuoka 806, JP; FUJII,
Shuichi-Kabushiki Kaisha Yaskawa Den,
Kitakyushu-shi, Fukuoka 806, JP; INAZUMI,
Masanobu-Kabushiki Kaisha Yaskawa De,
Kitakyushu-shi, Fukuoka 806, JP**

(54) Bezeichnung: **SENSORLOSES STEUERUNGSVERFAHREN UND PERMANENTERREGTE SYNCHRONMOTOR-
VORRICHTUNG**

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.

Beschreibung

GEBIET DER TECHNIK

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein sensorloses Steuerungs- bzw. Regelverfahren und eine permanenterregte Synchronmotorvorrichtung bzw. eine Vorrichtung eines Permanentmagnet-Synchronmotors, welche einen Positionsdetektor und Geschwindigkeits- bzw. Drehzahldetektor nicht aufweist.

STAND DER TECHNIK

[0002] Wenn ein bürstenloser Gleichstrommotor, der einen Permanentmagnet als einen Rotor verwendet, als ein Synchronmotor angetrieben wird, ist es notwendig, daß die absolute Position des Rotors erhalten wird und die korrekte bzw. genaue Stromregelung bzw. -steuerung durchgeführt wird. Um den Absolutwert des Rotors zu erhalten, wird im allgemeinen ein Rotorpositionsdetektor, wie beispielsweise eine Codiereinrichtung oder eine Auflösungseinrichtung bzw. Koordinatenwandler verwendet. Da es Probleme hinsichtlich Kompliziertheit einer Verdrahtung oder Struktur, eines Preises, einer Gebrauchsumgebung und dgl. gibt, wurden jedoch Verfahren zum Abschätzen der Position des Magnetpols, die keinen Rotorpositionsdetektor verwenden, vorgeschlagen.

[0003] Im Stand der Technik sind Verfahren bzw. Methoden zum Abschätzen der Position des Magnetpols des Permanentmagnet-Synchronmotors wie folgt bekannt.

[1] The Transaction of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Band 113-D, Nr. 5, Mai 1993, Seite 579 bis 586.

[2] The Transaction of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Band 114-D, Nr. 5, Mai 1994, Seite 591 bis 592.

[3] The Transaction of the Institute of Electrical Engineers of Japan, Band 115-D, Nr. 4, April 1995, Seite 420 bis 427.

[1] ist ein Verfahren, daß, wenn Statorströme i_α , i_β , die in ein α - β -Achsen-Koordinatensystem umgewandelt sind, das auf dem Stator eingestellt ist, zu beobachteten Werten gemacht werden und Statorspannungen v_α , v_β zu Eingaben gemacht werden, ein Magnetfluß λ_α , λ_β und eine Rotordrehzahl bzw. -geschwindigkeit unter Verwendung einer adaptiven Regel abgeschätzt werden.

[2] ist ein Verfahren, daß, wenn Statorströme i_α , i_β , die in ein α - β -Achsen-Koordinatensystem umgewandelt sind, zu beobachteten Werten gemacht werden und Statorspannungen v_α , v_β zu Eingaben gemacht werden, eine induzierte Spannung ε_α , die in der α -Achsen-Richtung im α - β -Achsen-Koordinatensystem erzeugt wird, und eine induzierte Spannung ε_β , die in der β -Achsen-Richtung erzeugt wird, als Störung abgeschätzt werden.

[3] ist ein Verfahren, daß ein Abweichungswinkel θ_e zwischen der γ - δ -Achse und der d-q-Achse aus einem Unterschied zwischen Statorströmen i_γ , i_δ , die in das γ - δ -Achsen-Koordinatensystem umgewandelt sind, das auf den Stator eingestellt ist, und bei synchroner Drehzahl rotieren, und berechneten Stromwerten $i_{\gamma 0}$, $i_{\delta 0}$ abgeschätzt wird, die aus dem Modell berechnet werden.

[0004] Jedoch sind in den oben erwähnten herkömmlichen Verfahren Probleme wie folgt.

[0005] Hinsichtlich [1] wird, wenn das Verfahren in einem Permanentmagnet-Synchronmotor eingeführt bzw. angewandt wird, der Polarität auf den α - β -Achsen-Koordinaten aufweist, die Induktivität eine Funktion des Rotorwinkels θ_r des Motors und die Zustandsgleichung wird kompliziert, und wenn ein Beobachter einzusetzen ist, wird die Berechnungsmenge erhöht und die Verwendung ist schwierig. Auch wird, da der Fluß λ_α , λ_β zu einer unbekanntem Größe gemacht ist, die Zustandsgleichung bei der Rotordrehzahl null nicht beobachtbar und die Abschätzung selbst wird instabil.

[0006] Hinsichtlich [2] wird, da die induzierte Spannung, die in die α - β -Achse umgewandelt ist, eine alternierende Größe wird, wenn der Pol des Beobachters nicht groß eingestellt ist, die Phasendifferenz zwischen der tatsächlichen Größe bzw. Menge und der abgeschätzten Größe erzeugt und das Verfahren wird nicht verwendbar.

[0007] [3] ist im Vergleich mit [1], [2] ein einfaches Verfahren, außerdem ist, da die γ - δ -Achse, die bei der Winkelgeschwindigkeit im wesentlichen synchron mit der d-q-Achse sich dreht als Bezugnahme betrachtet wird, wenn die Abweichung θ_e zwischen der d-q-Achse und der γ - δ -Achse klein ist, die Zustandsgleichung nicht kompliziert und das Verfahren ist hinsichtlich der Verwendung ausgezeichnet. Jedoch kann, da der tatsächliche Wert mit dem berechneten Wert verglichen wird, der einfach aus dem Modell eingeführt wird, wenn die

γ - δ -Achse mit der d-q-Achse zusammenfällt, die Abweichung θ_e nicht immer korrekt aufgrund des Modellier- bzw. Modellfehlers abgeschätzt werden.

[0008] Weiterhin wird in der Bezugnahme von [3] ein Verfahren dahingehend genommen, daß der abgeschätzte Geschwindigkeitswert und der Fehler zwischen der d-Achse und der γ -Achse aus der induzierten Spannung oder dem abgeschätzten Wert der induzierten Spannung im Hochgeschwindigkeitsbereich abgeschätzt werden, und die Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitsregelung bzw. -steuerung wird durchgeführt, während die γ -Achse mit der d-Achse zusammenfällt. Jedoch kann dieses Verfahren die Präzision bzw. Genauigkeit nur in dem Bereich erhalten, wo die induzierte Spannung ausreichend hoch ist, und die Abschätzung ist bei einer Drehzahl bzw. Geschwindigkeit von null unmöglich.

[0009] Deshalb kann im Fall eines Synchronmotors eines Typs eines vorspringenden Pols, unter Verwendung der Eigenschaft, daß die d-Achsen-Richtung und die q-Achsen-Richtung unterschiedlich in der Induktivität sind, wenn die Induktivität gemessen wird, während der Motor angehalten ist, die d-Achse aus der Änderung des Werts der Induktivität erkannt werden.

[0010] Andererseits kann in dem Fall eines Synchronmotors eines Typs eines nicht vorspringenden Pols, da die Induktivität in jedem Pol gleich ist, das oben erwähnte Verfahren nicht verwendet werden. Wenn der Synchronmotor keine Last aufweist, wenn Gleichstrom in einer bestimmten Richtung fließt, weist die magnetische Achse der Synchronmaschine eine Eigenschaft auf, sich so zu bewegen, um mit der Stromflußrichtung zusammenfallend zu sein. Deshalb fällt, wenn der Strom in der zugewiesenen magnetischen bzw. Magnetachse fließt, nach einem Verstreichen einer ausreichenden Zeit, die Magnetachse mit der zugewiesenen Magnetachse zusammen. Als ein Ergebnis kann die Magnetachse erkannt werden.

[0011] Jedoch können diese Verfahren nur beim Zustand niedriger Geschwindigkeit bzw. Drehzahl verwendet werden, und bei der Geschwindigkeit, die höher als die bestimmte Geschwindigkeit ist, muß das Abschätzungsverfahren auf das in der Bezugnahme von [3] beschriebene geändert werden. Diese sich ändernde Geschwindigkeit bzw. Drehzahl ist unterschiedlich in Abhängigkeit von der Art von Maschinen, und das rasche Ändern verursacht eine Schwankung des Drehmoments, und weiterhin müssen verschiedene Algorithmen grundsätzlich beim Zustand niedriger Geschwindigkeit vorbereitet werden. Deshalb gibt es ein Problem, daß das Design und die Regelung bzw. Steuerung beschwerlich sind.

[0012] US 5 057 759 offenbart eine Wechselstrommotor-Regel- bzw. -Steuervorrichtung diskreter Zeit, die einen Zustandsabschätzungsbeobachter aufweist, der einen Rotorwinkel und eine Rotorwinkelgeschwindigkeit basierend auf einem Modell einer direkten Phasenverschiebung um 90° des Motors abschätzt, wobei die Verstärkung des Beobachters abhängig von der abgeschätzten Winkelgeschwindigkeit gewechselt wird und wobei die Phasendifferenz zwischen den Wicklungs- bzw. Windungsspannungen und den Wicklungsströmen, die zu dem Zustandsabschätzungsbeobachter geliefert werden, abhängig von der abgeschätzten Winkelgeschwindigkeit kompensiert wird.

[0013] Insbesondere offenbart US 5 505 759 eine sensorlose Regel- bzw. Steuereinrichtung einer Permanentmagnet-Synchronmaschine, umfassend:
 einen Distributions- bzw. Verteilungsgewinn- bzw. -verstärkungsgenerator,
 einen Dreiphasen-/Zweiphasen-Wandler, der i_d und i_q Ströme erzeugt;
 eine integrale Magnetachsen-Rotationsgeschwindigkeits-Betätigungseinrichtung, die die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl der Magnetachse ausgibt;
 eine Magnetachsen-Betätigungseinrichtung, die eine Spannungsgröße zu der Wandler- bzw. Inverterschaltung eingibt.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0014] Demgemäß sind Probleme, die durch die Erfindung zu lösen sind, ein Regel- bzw. Steuerungsverfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, wo die Magnetachse in allen Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitsbereichen zugewiesen werden kann und die Geschwindigkeit kontinuierlich ungeachtet des Geschwindigkeitsbefehls geregelt bzw. gesteuert werden kann.

[0015] Dieses Ziel wird durch ein sensorloses Steuerungs- bzw. Regelverfahren eines Permanentmagnet-Synchronmotors, das die in Anspruch 1 geoffenbarten Merkmale aufweist, und eine sensorlose Steuervorrichtung einer Permanentmagnet-Synchronmaschine gelöst, die die in Anspruch 4 geoffenbarten Merkmale aufweist. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen definiert.

[0016] Gemäß der Erfindung wird ein sensorloses Steuerungs- bzw. Regelverfahren eines Permanentmagnet-Synchronmotors bereitgestellt, wobei ein Permanentmagnet-Synchronmotor, der einen Permanentmagnet als einen Rotor aufweist, in einem Bereich von null Geschwindigkeit bis zu Hochgeschwindigkeit kontinuierlich gesteuert bzw. geregelt ist bzw. wird, wobei in dem α - β -Raumkoordinatensystem, wo eine Phase als α -Achse ausgebildet bzw. festgelegt ist und die Vorwärtsrotationsrichtung in dem elektrischen Winkel 90° von der α -Achse als β -Achse festgelegt ist bzw. gemacht wird, die Koordinaten-d-q-Achse, die in der reellen bzw. echten Motorrotationsgeschwindigkeit bzw. -drehzahl ω_R dreht, festgelegt ist bzw. wird, wo die magnetische Achse des Motors als d festgelegt ist und die Achse eines Führens bzw. Vorseilens um 90° von der d-Achse als q ausgebildet ist, und die γ - δ -Achse festgelegt ist, wo die zugewiesene magnetische bzw. Magnetachse des Motors als γ festgelegt ist und die Achse, die um 90° von der γ -Achse führt bzw. vorseilt, als δ festgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn die Rotationsgeschwindigkeit $\omega_{R\gamma}$ der γ - δ -Achse bestimmt wird, der Distributions- bzw. Verteilungsgewinn K1 so festgelegt bzw. eingestellt wird, der zu verringern ist, wenn der Absolutwert des Rotationsgeschwindigkeits-Befehls ω_{RREF} groß wird, und der Distributions- bzw. Verteilungsgewinn K2 so festgelegt wird, der zu erhöhen ist, wenn der Absolutwert des Rotationsgeschwindigkeits-Befehls ω_{RREF} groß wird, und der Rotationsgeschwindigkeits-Befehl ω_{RREF} mit K1 multipliziert wird und der abgeschätzte Geschwindigkeitswert ω_{RP} , der von der induzierten Spannung des Synchronmotors bestimmt wird, oder der abgeschätzte Wert der induzierten Spannung entsprechend mit K2 multipliziert wird, und beide multiplizierten Werte summiert werden, wodurch die Rotationsgeschwindigkeit $\omega_{R\gamma}$ der γ - δ -Achse der zugewiesenen Magnetachse bestimmt wird.

[0017] Vorzugsweise wird, wenn der γ -Achsen-Strombefehlswert $i_{\gamma REF}$ zu bestimmen ist, der Niedriggeschwindigkeitsbereichs-Befehlswert $i_{\gamma REFL}$ mit der Verteilungsverstärkung K1 multipliziert und der Normalgeschwindigkeits- bzw. -drehzahlbereich-Befehlswert $i_{\gamma REFH}$ entsprechend mit der Verteilungsverstärkung K2 multipliziert, und beide multiplizierte Werte werden summiert, wodurch der γ -Achsen-Strombefehlswert $i_{\gamma REF}$ bestimmt werden kann, und auch der δ -Achsen-Strombefehlswert $i_{\delta REF}$ durch den Verhältnisssteuerungs Ausdruck, umfassend die Geschwindigkeitsbefehlswerte ω_{REF} und ω_{RP} , und den integralen Steuerungs Ausdruck gebildet werden kann, umfassend die Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitsbefehlswerte ω_{RREF} und $\omega_{R\gamma}$.

[0018] Gemäß der Erfindung wird darüber hinaus eine sensorlose Steuerungsvorrichtung einer Permanentmagnet-Synchronisiermaschine bereitgestellt, umfassend:
 ein Verteilungsgewinngenerator, der einen Verteilungsgewinn bzw. eine Distributionsverstärkung K1, der (die) zu verringern ist, wenn der Absolutwert eines Rotationsgeschwindigkeits- bzw. -drehzahl-Befehls ω_{RREF} groß wird, und einen Verteilungsgewinn K2 festlegt, der zu erhöhen ist, wenn der Absolutwert eines Rotationsgeschwindigkeits-Befehls ω_{RREF} groß wird;
 einen γ -Achsen-Strombefehlsgenerator, der den γ -Achsen-Befehl $i_{\gamma REF}$, basierend auf dem γ -Achsen-Strombefehl $i_{\gamma REFL}$ in einem Niedriggeschwindigkeits-Status, den γ -Strombefehl $i_{\gamma REFH}$ in einem Hochgeschwindigkeitszustand und die Verteilungsgewinne bzw. -verstärkungen K1, K2 generiert bzw. erzeugt;
 eine Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitssteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den δ -Achsen-Strom $i_{\delta REF}$ basierend auf dem Rotationsgeschwindigkeits-Befehl ω_{RREF} ausgibt;
 eine δ -Achsen-Stromsteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den δ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\delta REF}$ basierend auf dem δ -Achsen-Strombefehl $i_{\delta REF}$ ausgibt;
 eine γ -Achsen-Stromsteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den γ -Achsen-Strombefehl $v_{\gamma REF}$ basierend auf dem γ -Achsen-Strombefehl $i_{\gamma REF}$ ausgibt;
 eine Vektorsteuerschaltung bzw. -regelung, die eine Spannungsgröße und einen Positionswinkel an eine Wandler- bzw. Inverterschaltung des Synchronmotors basierend auf dem δ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\delta REF}$ und dem γ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\gamma REF}$ ausgibt;
 einen Dreiphasen-/Zweiphasen-Wandler, der den δ -Achsen-Strom i_δ und den γ -Achsen-Strom i_γ basierend auf Strömen i_u, i_w von zwei Phasen des Synchronmotors generiert bzw. erzeugt;
 eine γ - δ -Achsen-, Strom-, induzierte Spannungs-Abschätzeinrichtung, die die abgeschätzten Werte einer induzierten Spannung $\varepsilon_{\delta est}(k+1)$ und $\varepsilon_{\gamma est}(k+1)$ basierend auf den Spannungsbefehlen $v_{\delta REF}, v_{\gamma REF}$, dem δ -Achsen-Strom i_δ und dem γ -Achsen-Strom i_γ ausgibt und auch den abgeschätzten Wert des γ -Achsen-Stroms $i_{\gamma est}(k+1)$ zu dem γ -Achsen-Stromcontroller bzw. der -Steuer- bzw. -Regeleinrichtung und den abgeschätzten Wert des δ -Achsen-Stroms $i_{\delta est}(k+1)$ zu der δ -Achsen-Stromsteuereinrichtung entsprechend ausgibt;
 eine Verhältnisssteuerungs-Drehzahl- bzw. -Geschwindigkeitsbetätigungseinrichtung, die die Befehlssteuerungs-Geschwindigkeit bzw. -Drehzahl ω_{RPEST} basierend auf den abgeschätzten Werten der induzierten Spannung $\varepsilon_{\delta est}(k+1), \varepsilon_{\gamma est}(k+1)$ betreibt;
 eine integrale Magnetachsen-Rotationsgeschwindigkeits-Betätigungseinrichtung, die die Rotationsgeschwindigkeit $\omega_{R\gamma est}$ der Magnetachse basierend auf den Verteilungsgewinnen K1, K2 und der Befehlssteuerungs-Geschwindigkeit ω_{RPEST} ausgibt; wobei Mittel zur Verfügung gestellt sind, um die folgende Funktion auszuführen: der Rotationsgeschwindigkeits-Befehl ω_{RREF} wird mit K1 und dem abgeschätzten Geschwindigkeitswert ω_{RP}

multipliziert, der aus der induzierten Spannung des Synchronmotors bestimmt ist, oder der abgeschätzte Wert der induzierten Spannung wird mit K2 entsprechend multipliziert, und beide multiplizierten Werte werden summiert, wodurch die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl ω_{Ry} der γ - δ -Achse der zugewiesenen Magnetachse bestimmt ist; und

eine Magnetachsen-Betätigungseinrichtung, die eine Spannungsgröße und einen Positionswinkel zu der Inverterschaltung basierend auf der Rotationsgeschwindigkeit ω_{Ryest} der Magnetachse eingibt.

[0019] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden folgende Wirkungen bzw. Effekte erhalten.

(1) Im Niedriggeschwindigkeitsbereich, wo das Verhältnis von K1 größer als jenes von K2 ausgelegt ist, da die Drehzahl ω_{Ry} der γ -Achse nahe dem Geschwindigkeitsbefehlswert ω_{RREF} ist, wird die d-Achse, die die reele bzw. echte Magnetachse ist, bei der gleichen Geschwindigkeit gedreht wie jene der γ -Achse im Mittelwert und bei der Geschwindigkeit, die im wesentlichen gleich dem Geschwindigkeitsbefehlswert ist. Andererseits sind im Hochgeschwindigkeitsbereich, da das Verhältnis von K2 ausreichend größer als jenes von K1 ausgelegt ist und auch ω_{RP} und ω_{Ry} übereinstimmend sind bzw. zusammenfallen, der Proportional- bzw. Verhältnissteuerausdruck und der abgeschätzte Geschwindigkeitswert, die den Integralsteuerausdruck bilden, übereinstimmen bzw. fallen zusammen. Als eine Folge wird die Vektorregelung bzw. -steuerung gut ausgeführt.

(2) Da die Distributions- bzw. Verteilungsverstärkung kontinuierlich beim zwischenliegenden Geschwindigkeitsbereich zwischen dem Niedriggeschwindigkeitsbereich und dem Hochgeschwindigkeitsbereich eingestellt ist bzw. wird, wird der Fehler zwischen der γ -Achse und der d-Achse stufenweise bzw. zunehmend korrigiert und der Bereich bzw. die Region vom Niedriggeschwindigkeitsbereich zum Hochgeschwindigkeitsbereich wird kontinuierlich durch denselben Algorithmus ausgeführt.

(3) Wenn der δ -Achsen-Strombefehlswert $i_{\delta REF}$ durch den Verhältnissteuerausdruck, umfassend die Geschwindigkeitsbefehlswerte ω_{REF} und ω_{RP} , und den Integralsteuerausdruck gebildet wird, umfassend die Geschwindigkeitsbefehlswerte ω_{RREF} und ω_{Ry} , wird der abgeschätzte Geschwindigkeitswert zum Verhältnissteuerausdruck, umfassend ω_{RP} , zurückgeleitet, und die vorübergehende Oszillation bzw. Schwingung der d-Achse wird unterdrückt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] [Fig. 1](#) ist ein Flußdiagramm, das Schritte der Erfindung zeigt;

[0021] [Fig. 2](#) ist ein Blockdiagramm eines Regel- bzw. Steuersystems, das die Erfindung ausführt; und

[0022] [Fig. 3](#) ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Beziehung der Distributions- bzw. Verteilungsverstärkungen K1, K2 gemäß der Erfindung zeigt.

BESTE ART FÜR EIN AUSFÜHREN DER ERFINDUNG

[0023] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden gemäß einem Flußdiagramm in [Fig. 1](#) beschrieben.

[0024] Distributions- bzw. Verteilungsverstärkungen bzw. -gewinne K1, K2 ($K1 + K2 = 1$) sind eine Funktion vom Geschwindigkeitsbefehl ω_{RREF} , und wie in [Fig. 3](#) gezeigt, wird ein Einstellen so durchgeführt, daß K1 Verstärkung 0 bei hoher Geschwindigkeit bzw. Drehzahl wird, und linear am zwischenliegenden Bereich zwischen der niedrigen Geschwindigkeit und der hohen Geschwindigkeit variiert.

[0025] Ströme i_u , i_w der U Phase und der W Phase werden von einem Stromsensor (Schritt 1) eingegeben.

[0026] Die Magnetachsenposition $\theta_{est}(k)$ der γ -Achse, die bei der vorherigen Tätigkeitsschleife zugewiesen ist, wird verwendet, und die Drei-Phasen-/Zwei-Phasen-Umwandlung wird ausgeführt und die tatsächlichen Stromwerte $i_\gamma(k)$, $i_\delta(k)$ im γ - δ -Koordinatensystem werden geführt (Schritt 2).

[0027] Spannungsbefehle $v_{vREF}(k)$, $v_{\delta REF}(k)$, die in das γ - δ -Koordinatensystem umgewandelt sind und zur Zeit von $(k + 1)$ Sekunden ausgegeben werden, werden eingegeben (Schritt 3).

[0028] Gemäß Formel (1), werden γ - δ -Achsen-Stromwerte $i_{yest}(k + 1)$, $i_{\delta est}(k + 1)$ und abgeschätzte Werte induzierter Spannung $\varepsilon_{yest}(k + 1)$, $\varepsilon_{\delta est}(k + 1)$ zur Zeit von $(k + 1)$ Ts Sekunden abgeschätzt (Schritt 4).

$$\begin{pmatrix} i_{\gamma\text{est}}(k+1) \\ i_{\delta\text{est}}(k+1) \\ \varepsilon_{\gamma\text{est}}(k+1) \\ \varepsilon_{\delta\text{est}}(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - (R_s / L_d)T_s & (L_q / L_d)\omega R \gamma T_s & T_s & 0 \\ -(L_d / L_q)\omega R \gamma T_s & 1 - (R_s / L_q)T_s & 0 & T_s \\ 0 & 0 & T_s / L_q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -T_s / L_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{\gamma\text{est}}(k) \\ i_{\delta\text{est}}(k) \\ \varepsilon_{\gamma\text{est}}(k) \\ \varepsilon_{\delta\text{est}}(k) \end{pmatrix}$$

$$+ \frac{T_s}{L_q} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{\gamma\text{REF}}(k) \\ v_{\delta\text{REF}}(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_1 & K_2 \\ K_3 & K_4 \\ K_5 & K_6 \\ K_7 & K_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{\gamma}(k) - i_{\gamma\text{est}}(k) \\ i_{\delta}(k) - i_{\delta\text{est}}(k) \end{pmatrix}$$

..... (1)

Wo R_s : Statorwiderstand, L_q : q-Achsen-Induktivität, L_d : d-Achsen-Induktivität, T_s : Probenahmezeit bzw. Abtastzeit, K_1 bis K_8 : Beobachterrückkopplungsverstärkung.

[0029] Wie gut bekannt ist, wird, da $\varepsilon_{\gamma\text{est}}(k+1) = K\varepsilon \cdot \omega_R \cdot \sin\theta_e$, $\varepsilon_{\delta\text{est}}(k+1) = K\varepsilon \cdot \omega_R \cdot \cos\theta_e$, gemäß Formel (2), der temporäre geschätzte Geschwindigkeitswert $\omega_{R\phi\text{est}}(k+1)$ abgeschätzt (Schritt 5).

$$\omega_{R\phi\text{est}}(k+1) = \text{sign}(\varepsilon_{\delta\text{est}}(k+1)) \cdot (1 + K_{\phi}) \sqrt{\varepsilon_{\delta\text{est}}^2(k+1) + \varepsilon_{\gamma\text{est}}^2(k+1)}$$

K_{ϕ} : Konstante der induzierten Spannung (2)

[0030] Aus dem Vorzeichen der induzierten Spannung der δ -Achse und der induzierten Spannung der γ -Achse wird gemäß Formel (3) $\omega_{RP}(k+1)$, das in der Verhältnissteuerung zu verwenden ist, geführt (Schritt 6).

$$\omega_{RP\text{est}}(k+1) = \omega_{R\phi\text{est}}(k+1) + K_{\theta} \cdot \text{sign}(\omega_{R\phi\text{est}}(k+1)) \cdot \varepsilon_{\gamma\text{est}}(k+1) \quad (3)$$

K_{θ} : Verstärkung

[0031] Gemäß dem Geschwindigkeitsbefehlswert wird unter Verwendung der Distributions- bzw. Verteilungsverstärkung, die wie in [Fig. 3](#) gezeigt zugewiesen ist, gemäß Formel (4), die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl der γ -Achse zugewiesen und der abgeschätzte Geschwindigkeitswert $\omega_{R\gamma\text{est}}(k+1)$, der in der Integralregelung bzw. -steuerung zu verwenden ist, wird geführt (Schritt 7).

$$\omega_{R\gamma\text{est}}(k+1) = K_1 \omega_{R\text{REF}} + K_2 \omega_{RP}(k+1) \quad (4)$$

[0032] Aus diesen abgeschätzten Geschwindigkeitswerten wird basierend auf der Formel (5), die Position $\theta_{\text{est}}(k+1)$ der γ -Achse zum Zeitpunkt von $(k+1) T_s$ Sekunden zugewiesen (Schritt 8).

$$\theta_{\text{est}}(k+1) = \theta_{\text{est}}(k) + \theta_{R\gamma}(k+1) \cdot T_s \quad (5)$$

[0033] Unter Verwendung der Geschwindigkeit und des Geschwindigkeitsbefehls, abgeschätzt in Schritt 7, gemäß Formel (6), wird ein Strombefehl $i_{\delta\text{REF}}(k+1)$ der γ - δ -Achse geführt. Gemäß Formel (7), wird der Strombefehl $i_{\gamma\text{REF}}$ der T-Achse geführt (Schritt 9).

$$i_{\delta\text{REF}}(k+1) = K_v (\omega_{R\text{REF}} - \omega_{RP\text{est}}(k+1)) + K_1 K_v T_s \sum_{i=0}^{k+1} (\omega_{R\text{REF}} - \omega_{RP\text{est}}(k+1))$$

..... (6)

$$i_{\gamma\text{REF}}(k+1) = K_1 i_{\gamma\text{REFL}} + K_2 i_{\gamma\text{REFH}} \quad (7)$$

[0034] Aus dem Strombefehl und dem Strom werden Spannungsbefehle $v_{\gamma\text{REF}}(k+1)$, $v_{\delta\text{REF}}(k+1)$, die zur Zeit von $(k+1) T_s$ Sekunden auszugeben sind, abgeschätzt (Schritt 10).

[0035] In der vorliegenden Erfindung wird, wenn der Gleichstrom i_{VREFL} in der Vorwärtsrichtung zur γ -Achse erzeugt wird, die eine willkürlich zugewiesene Achse ist, wenn die d-Achse, die die reelle bzw. echte Magnetachse ist, in der Phase existiert, die um den Lastwinkel θ_e von der γ -Achse verzögert ist, ein Drehmoment, das proportional zu $i_{VREFL} \sin\theta_e$ ist und zur γ -Achsen-Richtung gerichtet ist, in der Magnetachse erzeugt. Deshalb ist, wenn das Lastdrehmoment null ist, die reelle Magnetachse immer dem Drehmoment unterworfen, das zu der γ -Achse gerichtet ist, die die zugewiesene Magnetachse ist. In einer Synchronisiermaschine erzeugt, die üblicherweise keine Dämpferwicklung bzw. -windung aufweist, da der Dämpfungsfaktor im wesentlichen null ist, die d-Achse eine einfache harmonische Oszillation um die γ -Achse. In der vorliegenden Erfindung wird der abgeschätzte Geschwindigkeitswert zum proportionalen bzw. Proportionalsteuerungsausdruck zurückgeführt, umfassend ω_{RP} , wodurch die vorübergehende Oszillation der d-Achse unterdrückt wird. Die Geschwindigkeit, die für das Integral verwendet wird, stimmt mit der zugewiesenen Geschwindigkeit der γ -Achse überein, und im Niedriggeschwindigkeitsbereich, wo das Verhältnis von K1 größer als jenes von K2 ausgelegt ist, da die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl ω_{RV} der γ -Achse nahe dem Geschwindigkeitsbefehlswert ω_{RREF} ist, wird die d-Achse, die die reelle bzw. echte Magnetachse ist, bei der gleichen Geschwindigkeit wie jene der γ -Achse im Mittelwert gedreht und bei der Geschwindigkeit, die im wesentlichen gleich dem Geschwindigkeitsbefehlswert ist.

[0036] Andererseits fällt im Hochgeschwindigkeitsbereich, da die induzierte Spannung einen ausreichenden Wert aufweist, die Rotationsgeschwindigkeit ω_{RV} der γ -Achse mit der Rotationsgeschwindigkeit der d-Achse im Mittelwert zusammen und das Einstellen, um den Winkelfehler zwischen der γ -Achse und der d-Achse zu korrigieren, wird möglich. Im Hochgeschwindigkeitsbereich fällt, da das Verhältnis von K2 ausreichend größer als jenes von K1 ausgelegt ist und ω_{RP} und ω_{RV} übereinstimmend sind bzw. zusammenfallen, die Proportionalregelung bzw. -steuerung mit dem abgeschätzten Geschwindigkeitswert zusammen, der den Integralregel- bzw. -steuerungsausdruck bildet bzw. darstellt. Als eine Folge stimmt die γ -Achse mit der d-Achse überein, außerdem ist der Geschwindigkeitsbefehl übereinstimmend mit der Geschwindigkeit. Bei der sensorlosen Vektorregelung bzw. -steuerung wird die γ -Achse als die Magnetachse betrachtet bzw. angenommen, aber sie ist mit der d-Achse übereinstimmend, wodurch die Vektorregelung bzw. -steuerung gut ausgeführt wird.

[0037] Außerdem wird in der vorliegenden Erfindung, da die Verteilungsverstärkung kontinuierlich im zwischenliegenden Bereich zwischen dem Niedriggeschwindigkeitsbereich und dem Hochgeschwindigkeitsbereich eingestellt wird bzw. ist, der Fehler zwischen der γ -Achse und der d-Achse zunehmend korrigiert und der Bereich vom Niedriggeschwindigkeitsbereich bis zum Hochgeschwindigkeitsbereich wird kontinuierlich im gleichen Algorithmus ausgeführt.

[0038] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm der vorliegenden Erfindung. In **Fig. 2** bezeichnet Bezugszeichen **1** einen Distributions- bzw. Verteilungsverstärkergenerator, Bezugszeichen **2** bezeichnet einen Geschwindigkeitscontroller bzw. eine Geschwindigkeits-Steuer- bzw. -Regeleinrichtung, Bezugszeichen **3** bezeichnet einen γ -Achsen-Strombefehlsgenerator, Bezugszeichen **4** bezeichnet eine δ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung, Bezugszeichen **5** bezeichnet eine γ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung, Bezugszeichen **6** bezeichnet eine Vektorregel- bzw. -steuerungsschaltung, Bezugszeichen **7** bezeichnet eine Inverterschaltung, Bezugszeichen **8** bezeichnet einen Synchronmotor, Bezugszeichen **9** bezeichnet einen Dreiphasen-/Zweiphasen-Wandler, Bezugszeichen **10** bezeichnet eine γ - δ -Achsen-, Strom-, induzierte Spannungs-Abschätzeinrichtung, Bezugszeichen **11** bezeichnet eine Verhältnissteuerungs-Drehzahl- bzw. -Geschwindigkeits-Betätigungseinrichtung, Bezugszeichen **12** bezeichnet eine Magnetachsen-Betätigungseinrichtung und Bezugszeichen **13** bezeichnet eine Integral-Magnetachsen-Rotationsgeschwindigkeits-Betätigungseinrichtung.

[0039] In **Fig. 2** erzeugt durch den Geschwindigkeitsbefehl ω_{RREF} der Distributions- bzw. Verteilungsverstärkungsgenerator **1** Verteilungsverstärkungen K1, K2 in **Fig. 3**. Der γ -Achsenbefehl i_{VREF} wird dadurch erzeugt, indem der i_{VREFL} : Niedriggeschwindigkeitsbefehl, der i_{VREFH} : Hochgeschwindigkeitsbefehl und K1, K2 an den γ -Achsen-Strombefehlsgenerator **3** eingegeben werden. Die Geschwindigkeits-Regel- bzw. -Steuereinrichtung **2** gibt den δ -Achsen-Strom $i_{\delta REF}(k+1)$ aus, und die δ -, γ -Achsen-Spannungsbefehle $v_{\delta REF}$, $v_{\gamma REF}$ werden aus der δ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung **4** und der γ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung **5** ausgegeben und in die Vektorregel- bzw. -steuerschaltung **6** eingegeben. Die Ausgabe $\theta_{est}(k+1)$ von der Magnetachsen-Betätigungseinrichtung **12** wird in die Vektorregel- bzw. -steuerschaltung **6** eingegeben, und die Spannungsgröße und der Positionswinkel werden zu der Inverterschaltung **7** eingegeben. Die Inverterschaltung **7** liefert einen Strom an den Synchronmotor **8**. Ströme i_u , i_w werden dem Dreiphasen-/Zweiphasen-Wandler **9** eingegeben, und der Strom im Rotorkoordinatensystem γ - δ -Achsen-Strom wird erzeugt. Dieser Strom wird an die γ - δ -Achsen-, Strom-, induzierte Spannungs-Abschätzeinrichtung **10** eingegeben und auch die Spannungsbefehle $v_{\delta REF}$, $v_{\gamma REF}$ werden eingegeben. Durch die γ - δ -Achsen-, Strom-, induzierte Spannungs-Abschätzeinrichtung **10** werden die abgeschätzten Werte der induzierten Spannung $\varepsilon_{\delta est}(k+1)$, $\varepsilon_{\gamma est}(k+1)$ der Ver-

hältnissteuerungs-Drehzahl- bzw. -Geschwindigkeits-Betätigungseinrichtung **11** eingegeben und die Befehls-Regelungs- bzw. -Steuerungsgeschwindigkeit $\omega_{R\text{Pest}}$ wird ausgegeben. Andererseits werden $i_{\gamma\text{est}}(k+1)$, $i_{\delta\text{est}}(k+1)$ an die δ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung 4 und die γ -Achsen-Stromregel- bzw. -steuereinrichtung 5 eingegeben, und der Spannungsbefehl wird erzeugt. Die $\omega_{R\text{Pest}}$ und $\omega_{R\text{REF}}$ und die Verteilungsverstärkungen K1, K2 werden in die Magnetachsen-Rotationsgeschwindigkeits-Betätigungseinrichtung **13** eingegeben und die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl $\omega_{R\gamma\text{est}}$ der Magnetachse wird ausgegeben.

GEWERBLICHE ANWENDBARKEIT

[0040] Die vorliegende Erfindung kann auf dem Gebiet einer sensorlosen Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitssteuerung bzw. -regelung eines Permanentmagnet-Synchronmotors verwendet werden.

Patentansprüche

1. Sensorloses Steuerungs- bzw. Regelverfahren eines Permanentmagnet-Synchronmotors, wobei ein Permanentmagnet-Synchronmotor, der einen Permanentmagnet als einen Rotor aufweist, in einem Bereich von null Geschwindigkeit bis zu Hochgeschwindigkeit kontinuierlich gesteuert bzw. geregelt ist, wodurch in dem α - β -Raumkoordinatensystem, wo eine Phase als α -Achse ausgebildet bzw. festgelegt ist und die Vorwärtsrotationsrichtung in dem elektrischen Winkel 90° von der α -Achse als β -Achse festgelegt ist, die Koordinaten-d-q-Achse, die in der reellen bzw. echten Motorrotationsgeschwindigkeit bzw. -drehzahl ω_R dreht, festgelegt ist, wo die magnetische Achse des Motors als d festgelegt ist und die Achse eines Führens bzw. Vorseilens um 90° von der d-Achse als q ausgebildet ist, und die γ - δ -Achse festgelegt ist, wo die zugewiesene Magnetachse von dem Motor als γ festgelegt ist und die Achse, die um 90° von der γ -Achse führt bzw. vorseilt, als δ festgelegt ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß, wenn die Rotationsgeschwindigkeit $\omega_{R\gamma}$ der γ - δ -Achse bestimmt wird, der Distributions- bzw. Verteilungsgewinn bzw. -verstärkung K1 so festgelegt bzw. eingestellt wird, der zu verringern ist, wenn der Absolutwert des Rotationsgeschwindigkeits-Befehls $\omega_{R\text{REF}}$ groß wird, und der Distributions- bzw. Verteilungsgewinn bzw. -verstärkung K2 so festgelegt wird, der zu erhöhen ist, wenn der Absolutwert des Rotationsgeschwindigkeits-Befehls $\omega_{R\text{REF}}$ groß wird, und der Rotationsgeschwindigkeits-Befehl $\omega_{R\text{REF}}$ mit K1 multipliziert wird und der abgeschätzte Geschwindigkeitswert $\omega_{R\text{P}}$, der von der induzierten Spannung des Synchronmotors bestimmt wird, oder der abgeschätzte Wert der induzierten Spannung wird entsprechend mit K2 multipliziert, und beide multiplizierten Werte werden summiert, wodurch die Rotationsgeschwindigkeit $\omega_{R\gamma}$ der γ - δ -Achse der zugewiesenen Magnetachse bestimmt wird.
2. Sensorloses Steuerungs- bzw. Regelungsverfahren eines Permanentmagnet-Synchronmotors nach Anspruch 1, wobei, wenn der γ -Achsen-Strombefehlswert $i_{R\text{REFL}}$ mit dem Gewinn bzw. der Verstärkung K1 multipliziert wird und der Normalgeschwindigkeits- bzw. -drehzahlbereich-Befehlswert $i_{R\text{REFH}}$ entsprechend mit dem Verteilungsgewinn bzw. -verstärkung K2 multipliziert wird, und beide multiplizierten Werte summiert werden, wodurch der γ -Achsen-Strombefehlswert $i_{R\text{REF}}$ bestimmt wird.
3. Sensorloses Steuerungs- bzw. Regelungsverfahren eines Permanentmagnet-Synchronmotors nach Anspruch 1, wobei der δ -Achsen-Strombefehlswert $i_{\delta\text{REF}}$ durch den Verhältnissteuerungsterm, umfassend die Geschwindigkeitsbefehlswerte $\omega_{R\text{REF}}$ und $\omega_{R\text{P}}$ und den integralen Steuerungsterm, umfassend die Geschwindigkeitsbefehlswerte $\omega_{R\text{REF}}$ und $\omega_{R\gamma}$, dargestellt wird bzw. besteht.
4. Sensorlose Steuerungsvorrichtung einer Permanentmagnet-Synchronisiermaschine, umfassend: ein Verteilungsgewinn-generator, der einen Verteilungsgewinn bzw. einer Distributionsverstärkung K1, der (die) zu verringern ist, wenn der Absolutwert des Rotationsgeschwindigkeits- bzw. -drehzahl-Befehls $\omega_{R\text{REF}}$ groß wird, und einen Verteilungsgewinn bzw. -verstärkung K2 festlegt, der zu erhöhen ist, wenn der Absolutwert eines Rotationsgeschwindigkeits-Befehls $\omega_{R\text{REF}}$ groß wird; einen γ -Achsen-Strombefehls-generator, der den γ -Achsen-Befehl $i_{R\text{REF}}$ basierend auf dem γ -Achsen-Strombefehl $i_{R\text{REFL}}$ in dem Niedriggeschwindigkeits-Status, den γ -Strom-Befehl $i_{R\text{REFH}}$ in dem Hochgeschwindigkeitszustand und die Verteilungsgewinne bzw. -verstärkungen K1, K2 generiert bzw. erzeugt; eine Drehzahl- bzw. Geschwindigkeitssteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den δ -Achsen-Strom $i_{\delta\text{REF}}$ basierend auf dem Rotationsgeschwindigkeits-Befehl $\omega_{R\text{REF}}$ ausgibt; eine δ -Achsen-Stromsteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den δ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\delta\text{REF}}$ basierend auf dem δ -Achsen-Strombefehl $i_{\delta\text{REF}}$ ausgibt; eine γ -Achsen-Stromsteuer- bzw. -regeleinrichtung, welche den γ -Achsen-Strombefehl $V_{R\text{REF}}$ basierend auf dem γ -Achsen-Strombefehl $i_{R\text{REF}}$ ausgibt; eine Vektorsteuerschaltung bzw. Regelung, die eine Spannungsgröße und einen Positionswinkel an eine In-

verterschaltung des Synchronmotors basierend auf dem δ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\delta\text{REF}}$ und dem γ -Achsen-Spannungsbefehl $v_{\gamma\text{REF}}$ ausgibt;

einen Dreiphasen/Zweiphasen-Wandler, der den δ -Achsen-Strom i_{δ} und den γ -Achsen-Strom i_{γ} basierend auf Strömen i_u, i_w von zwei Phasen des Synchronmotors generiert bzw. erzeugt;

eine γ - δ -Achsen-, Strom-, induzierte Spannungs-Abschätzeinrichtung, die die abgeschätzten Werte einer induzierten Spannung $\varepsilon_{\delta\text{est}}(k+1)$ und $\varepsilon_{\gamma\text{est}}(k+1)$ basierend auf den Spannungsbefehlen $v_{\delta\text{REF}}, v_{\gamma\text{REF}}$, dem δ -Achsen-Strom i_{δ} und dem γ -Achsen-Strom i_{γ} ausgibt und auch den abgeschätzten Wert des γ -Achsen-Stroms $i_{\gamma\text{est}}(k+1)$ zu dem γ -Achsen-Stromcontroller bzw. der -Steuer- bzw. Regeleinrichtung und den abgeschätzten Wert des δ -Achsen-Stroms $i_{\delta\text{est}}(k+1)$ zu der δ -Achsen-Stromsteuereinrichtung entsprechend ausgibt;

eine Verhältnissteuerungs-Drehzahl- bzw. -Geschwindigkeitsbetätigungseinrichtung, die die Befehlssteuerungs-Geschwindigkeit bzw. -Drehzahl ω_{RPEST} basierend auf den abgeschätzten Werten der induzierten Spannung $\varepsilon_{\delta\text{est}}(k+1), \varepsilon_{\gamma\text{est}}(k+1)$ betreibt;

eine integrale Magnetachsen-Rotationsgeschwindigkeits-Betätigungseinrichtung, die die Rotationsgeschwindigkeit ω_{Ryest} der Magnetachse basierend auf den Verteilungsgewinnen K1, K2 und der Befehlssteuerungs-Geschwindigkeit ω_{RPEST} ausgibt;

wobei Mittel zur Verfügung gestellt sind, um die folgende Funktion auszuführen:

der Rotationsgeschwindigkeits-Befehl ω_{RREF} wird mit K1 und dem abgeschätzten Geschwindigkeitswert ω_{RP} multipliziert, der aus der induzierten Spannung des Synchronmotors bestimmt ist, oder der abgeschätzte Wert der induzierten Spannung mit K2 entsprechend multipliziert wird, und beide multiplizierten Werte werden summiert, wodurch die Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehzahl ω_{Ry} der γ - δ -Achse der zugewiesenen Magnetachse bestimmt ist; und

eine Magnetachsen-Betätigungseinrichtung, die eine Spannungsgröße und einen Positionswinkel zu der Inverterschaltung basierend auf der Rotationsgeschwindigkeit ω_{Ryest} der Magnetachse eingibt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

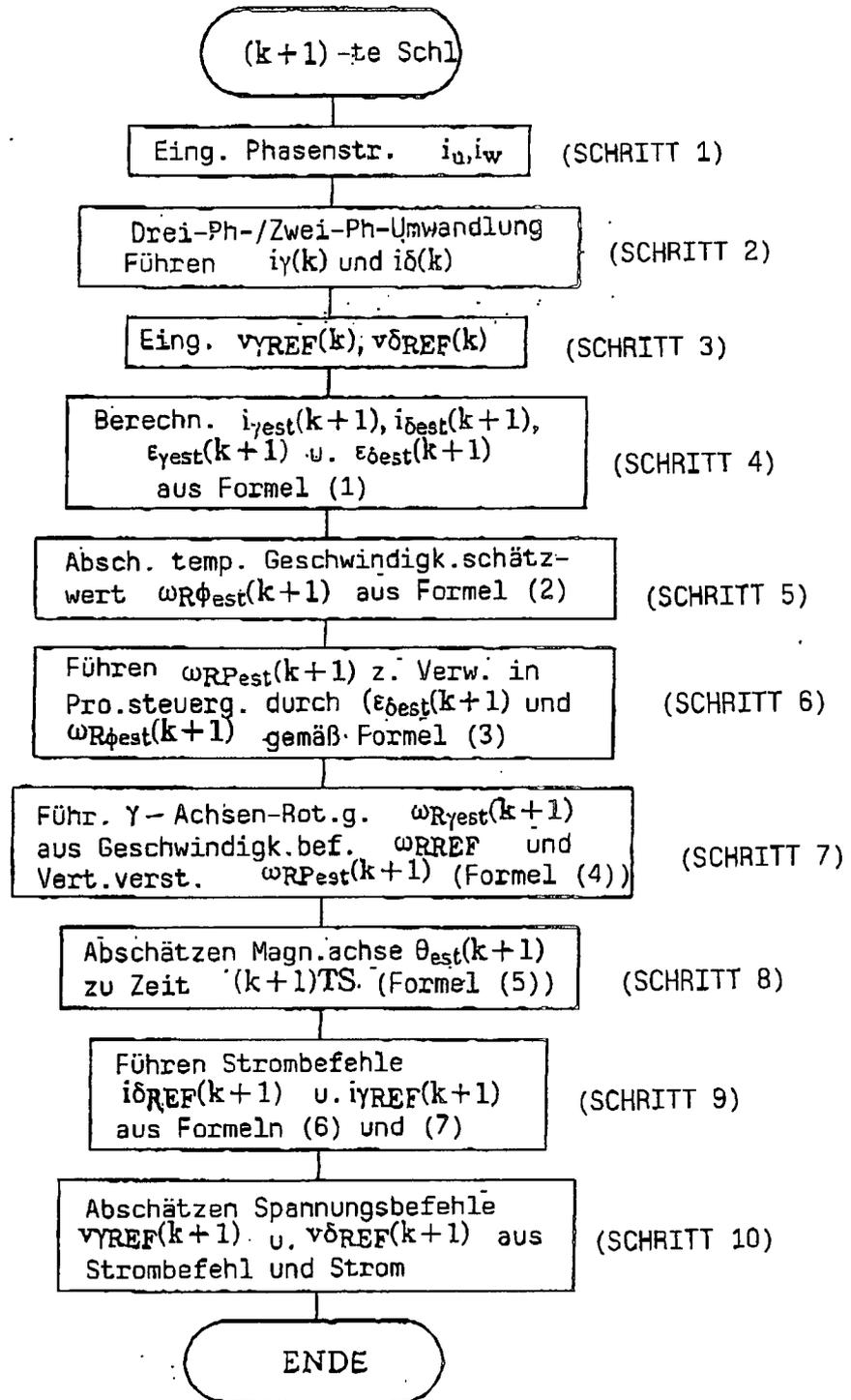


Fig.2

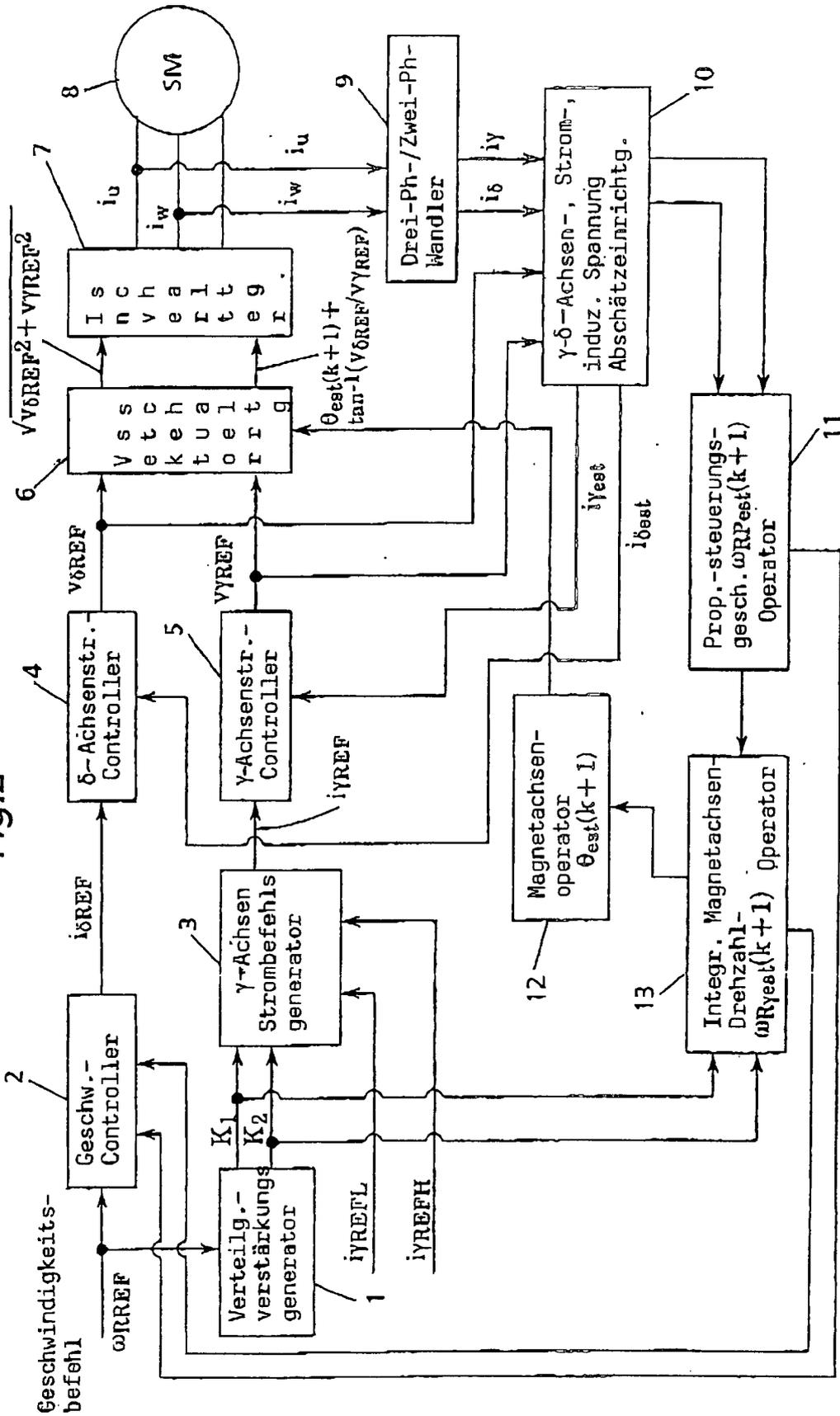


Fig.3

