



(10) **DE 11 2012 007 011 T5** 2015.07.02

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2014/057575**  
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2012 007 011.9**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2012/076457**  
(86) PCT-Anmeldetag: **12.10.2012**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **17.04.2014**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **02.07.2015**

(51) Int Cl.: **H02P 21/00 (2006.01)**  
**H02P 27/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, Tokyo, JP**

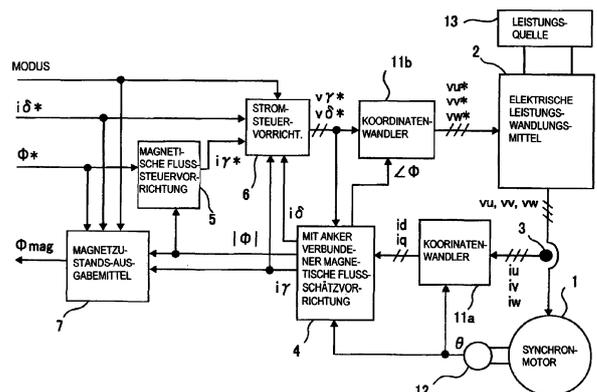
(72) Erfinder:  
**Kobayashi, Takahiko, Tokyo, JP; Anzai, Kiyoharu, Tokyo, JP; Wada, Noriyuki, Tokyo, JP; Matsuura, Daiki, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte PartmbB, 81925 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Synchronmotor-Steuervorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Ein Synchronmotor-Steuermittel ist ausgestattet mit einem Magnetzustands-Ausgabemittel (7), das den Magnetfluss eines Permanentmagneten abschätzt, der das Magnetfeld eines Synchronmotors (1) bildet; in einem Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus berechnet das Magnetzustands-Ausgabemittel (7) einen Magnetzustands-Korrekturwert ( $\Delta\phi_{m1}$ ); in einem Magnetzustand-Schätzmodus ist das Magnetzustands-Ausgabemittel (7) mit einer Magnetzustands-Schätzvorrichtung (8) ausgestattet, die einen Magnetzustands-Schätzwert ( $\phi_{m1}'$ ) des Permanentmagneten berechnet unter der Bedingung eines Magnetflussbefehls ( $\phi_1$ ) und eines  $\delta$ -Achsen-Strombefehls ( $i_1$ ), und ein Magnetzustands-Korrekturmittel (9), das den Magnetfluss-Schätzwert ( $\phi_{m1}'$ ) des Permanentmagneten, erhalten von der Magnetzustands-Schätzvorrichtung (8), durch Verwenden des Magnetzustands-Korrekturwerts ( $\Delta\phi_{m1}$ ) korrigiert.



**Beschreibung**

Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Synchronmotor-Steuervorrichtung, die mit einem elektrischen Leistungswandlungsmittel ausgestattet ist, das einen Synchronmotor antreibt.

Stand der Technik

**[0002]** Falls ein Synchronmotor mit einem Permanentmagneten, als Magnetfeldmagnet, gesteuert wird durch eine Synchronmotor-Steuervorrichtung mit einem elektrischen Leistungswandlungsmittel, wie zum Beispiel einem Inverter, verursacht, wie wohl bekannt ist, ein Temperaturanstieg aufgrund einer Energiezuführung der Ankerwicklung eines Synchronmotors, ein Eisenverlust in dem Synchronmotor selbst oder dergleichen, ein sogenanntes "Demagnetisierungs"-Phänomen, in dem die Intensität der Magnetisierung des Magnetfeld-Permanentmagneten, das heißt der magnetische Fluss, reduziert wird; wenn weiterhin die erlaubte Temperatur überstiegen wird, wird ein sogenanntes "irreversibles Demagnetisierungs"-Phänomen verursacht, bei dem, sogar wenn die Temperatur auf die Normaltemperatur fällt, der Magnetfluss nicht in den Zustand zurückkehrt zu der Zeit, bevor die Demagnetisierung verursacht wurde. Dementsprechend ist es nötig, dass, wenn ein Synchronmotor mit einem Permanentmagnet als Magnetfeldmagnet gesteuert wird, wenigstens die Temperatur des Permanentmagneten auf eine Temperatur niedriger als die erlaubte Temperatur gedrückt wird, bei der eine reversible Demagnetisierung verursacht wird. Aufgrund eines durch die Struktur des Synchronmotors verursachten Platzproblems, eines Falls, der die Außenseite des Synchronmotors schützt, oder dergleichen, ist es jedoch schwierig, eine Temperatur-Erfassungsvorrichtung an dem Permanentmagneten direkt anzubringen; dementsprechend wird eine Technologie benötigt zum indirekten Messen oder Abschätzen der Temperatur des Permanentmagneten oder der magnetischen Fluss betreffend die Temperatur des Permanentmagneten mit einem geeigneten Verfahren.

**[0003]** Als ein Beispiel einer Synchronmotor-Steuervorrichtung, die diese Probleme löst, gibt es eine konventionelle Vorrichtung (siehe zum Beispiel Patentdokument 1), in der, basierend auf Informationspunkten über den Strom, die Temperatur und die Rotationsgeschwindigkeit, die erhalten werden von einem Stromsensor, der den zwischen dem Inverter und der Ankerwicklung auszutauschenden Strom erfasst, einen Temperatursensor, der die Temperatur der Ankerwicklung erfasst, um den Widerstandswert der Ankerwicklung zu korrigieren, bzw. einem Magnetpol-Positionssensor, der die Magnetpolposition des Magnetfeldmagneten erfasst, der Magnetfluss, der von den Magnetfeld-Permanentmagneten abweicht und mit der Ankerwicklung verbunden ist, erhalten wird durch eine Magnetfeld-Beobachtungsvorrichtung, die aus einem Modell des Synchronmotors (elektrischer Rotationsmotor) und einem Proportionsintegrator besteht. Als ein weiteres Beispiel einer ähnlichen Steuervorrichtung gibt es eine konventionelle Vorrichtung (siehe zum Beispiel Patentdokument 2), die ein Mittel aufweist zum Erfassen des Werts eines Phasendifferenzwinkels  $\delta$  zwischen der von dem Permanentmagneten erzeugten Induktionsspannung und der Anschlussspannung und die eine Magnettemperatur-Information ausgibt mit Bezug auf den Phasendifferenzwinkel  $\delta$  bei einer Referenztemperatur und den erfassten Phasendifferenzwinkel  $\delta$  und basierend auf einer Magnettemperaturtabelle.

**[0004]** Als ein weiteres Beispiel der ähnlichen Steuervorrichtung gibt es eine konventionelle Vorrichtung (siehe zum Beispiel Patentdokument 3), in der bei der Steuerung, die eine Rotations-Zwei-Achsen-(d-q-Achsen) Koordinatentransformation nutzt, ein q-Achsen-Spannungsbetriebsbetrag zu der Zeit, wenn keine Demagnetisierung in einem Permanentmagneten verursacht wird, als Abbildung gehalten wird und dann ein Demagnetisierungsbetrag berechnet wird, basierend auf einem q-Achsen-Spannungsbetriebsbetrag, der die Ausgabe der PI-Steuereinheit ist zu der Zeit, wenn ein Synchronmotor in der stromgesteuerten durch Proportional-Integral-(PI)-Steuerung ist, dem in der Abbildung gehaltenen q-Achsen-Spannungsbetriebsbetrag, wenn keine Demagnetisierung in dem Permanentmagneten verursacht wird) und einer Rotationswinkel-Geschwindigkeit  $\omega$ .

**[0005]** Patentdokumente 4 und 5 offenbaren jeweils ein Beispiel einer Technologie, in der, basierend auf einem Spannungsbefehl für einen Synchronmotor und einen Ankerstrom, die Rotorposition der Synchronmaschine durch eine Berechnung abgeschätzt wird.

Stand der Technik-Referenzen

Patentdokument

**[0006]**

Patentdokument 1: Japanische Patentanmeldungs-Veröffentlichung Nr. 2010-110141  
 Patentdokument 2: Japanische Patentanmeldungs-Veröffentlichung Nr. H11-69900  
 Patentdokument 3: Japanisches Patent Nr. 4223880  
 Patentdokument 4: Japanisches Patent Nr. 4672236  
 Patentdokument 5: Internationale Veröffentlichung Nr. WO2010/109528

### Offenbarung der Erfindung

#### Von der Erfindung zu lösende Probleme

**[0007]** In der in Patentdokument 1 offenbarten konventionellen Vorrichtung, wenn die Magnetfluss-Beobachtungsanordnung den Wert eines magnetischen Flusses erhält, der von dem Magnetfeld-Permanentmagneten abweicht und mit der Ankerwicklung verbunden ist, wird der Widerstandswert der Ankerwicklung benutzt, der korrigiert wird basierend auf der Ausgabe eines Temperatursensors, der die Temperatur der Ankerwicklung erfasst; deshalb wird der Temperatursensor zum Erfassen der Temperatur der Ankerwicklung benötigt, wodurch ein Problem auftritt, dass die Anzahl von Bauelementen in der Steuervorrichtung sicherlich vergrößert wird. In der in Patentdokument 2 offenbarten konventionellen Vorrichtung, wenn ein zur Ausgabe einer Magnettemperatur-Information benötigte Magnettemperaturtabelle durch eine Berechnung erhalten wird, kann die Korrelation zwischen dem Phasendifferenzwinkel  $\delta$  und der Magnettemperatur nicht genau berechnet werden, wenn die Induktanz des Synchronmotors nicht genau erfasst wird, und somit existiert ein Problem, dass die Genauigkeit beim Abschätzen der Magnettemperatur-Abschätzung aufgrund eines Fehlers in der Induktanz verschlechtert wird. Falls die Magnettemperaturtabelle durch eine tatsächliche Messung erhalten wird, ist es notwendig, Abbildungsdaten zu erzeugen durch Durchführen der Messung, während die Magnettemperatur gemäß eines geeigneten Verfahrens geändert wird; es ist jedoch nicht einfach, eine Umgebung zum Anpassen der Magnettemperatur auf eine gewünschte Temperatur herzustellen; somit existiert ein Problem, dass ein großer Arbeitsaufwand zum Erzeugen der Abbildungsdaten benötigt wird.

**[0008]** In der in Patentdokument 3 offenbarten konventionellen Vorrichtung, obwohl bestimmt werden kann, ob eine Demagnetisierung aufgetreten ist oder nicht, wird kein Verfahren zum Erhalten der Magnettemperatur oder des Absolutwerts (Größe) des magnetischen Flusses des Magneten offenbart, und um zu bestimmen, ob die designierte Anzahl von Malen aufgetreten ist oder nicht, ist es nötig, den d-q-Achsen-Strombefehl einzeln und auf die gleiche Weise für sowohl eine Vor-Demagnetisierungs- als auch eine Nach-Demagnetisierungs-Perioden einzustellen; wenn eine Demagnetisierung auftritt, wird dementsprechend die Demagnetisierungsgröße berechnet und korrigiert, nachdem bestimmt wird, dass eine Demagnetisierung aufgetreten ist, so dass der Betrag eines verringerten Drehmoments entsprechend der Demagnetisierung korrigiert werden kann; somit gibt es ein Problem, das das durch den Synchronmotor produzierte Drehmoment kleiner als ein gewünschtes Drehmoment (Befehlswert) wird, wenn das Auftreten der Demagnetisierung bestimmt wird.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung wurde gemacht, um die vorangehenden Problem ein konventionellen Synchronmotor-Steuervorrichtungen zu lösen; deren Aufgabe ist es, eine Synchronmotor-Steuervorrichtung bereitzustellen, die mit hoher Genauigkeit die Temperatur eines Permanentmagneten oder den magnetischen Flusswert bestimmen kann, während der Synchronmotor mit dem Magnetfeld-Permanentmagneten angetrieben wird, ohne dass ein Temperatursensor direkt an dem Permanentmagneten angebracht ist.

#### Mittel zum Lösen der Probleme

**[0010]** Eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung enthält ein elektrisches Leistungswandlungsmittel, das eine Spannung an einen Synchronmotor mit einem Permanentmagneten zum Bilden eines Magnetfelds ausgibt, basierend auf einem Spannungsbefehl; ein Stromerfassungsmittel, das einen Ankerstrom der Synchronmaschine erfasst; eine mit dem Anker verbundene magnetische Fluss-Schätzvorrichtung, die, basierend auf dem Spannungsbefehl, die Größe eines mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses des Synchronmotors und einer  $\gamma$ -Achse, entlang der der mit dem Anker verbundene magnetische Fluss produziert wird, abschätzt und die den Ankerstrom in einen Strom auf einer  $\gamma$ - $\delta$ -Achse, die aus der  $\gamma$ -Achse und einer  $\delta$ -Achse, die senkrecht zu der A-Achse ist, besteht, Koordinatentransformiert basierend auf einer Rotorposition des Synchronmotors und der abgeschätzten  $\gamma$ -Achse; eine Magnetfluss-Steuervorrichtung, die einen  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl erzeugt zum Steuern des  $\gamma$ -Achsen-Stroms auf einen vorbestimmten Wert, basierend auf einem Magnetflussbefehl und der Größe des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses; eine Stromsteuervorrichtung, die einen Spannungsbefehl erzeugt, basierend auf einem  $\gamma$ - $\delta$ -Achsen-Strombefehl, der erhalten wird durch Addieren eines  $\delta$ -Achsen-Strombefehls zu dem  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl, und dem  $\gamma$ - $\delta$ -Achsen-Strom; und ein Magnetzustands-Ausgabemittel, das einen magnetischen Fluss oder ei-

ne Temperatur des Permanentmagneten abschätzt und ausgibt. Das Magnetzustands-Ausgabemittel ist ausgestattet mit einer Magnetzustands-Abschätzvorrichtung zum Abschätzen eines magnetischen Flusses oder einer Temperatur des Permanentmagneten basierend auf dem  $\gamma$ -Achsen-Strom, dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl und dem Magnetflussbefehl, und das Magnetzustands-Ausgabemittel weist einen Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus und einen Magnetzustands-Abschätzmodus auf; in dem Magnetzustands-Korrekturwert-Abschätzmodus gibt das Magnetzustands-Ausgabemittel der Magnetzustands-Abschätzvorrichtung Null als jeden der Strombefehle der jeweiligen Achsen auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse aus und berechnet einen Magnetzustands-Korrekturwert basierend auf der Größe des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses, der abgeschätzt wird unter der Bedingung des Strombefehls und eines Magnetfluss-Abschätzwerts oder einem Temperatur-Abschätzwert des Permanentmagneten, der erhalten wird durch die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung unter der Bedingung, dass ein vorbestimmter Magnetflussbefehl und ein  $\delta$ -Achsen-Strombefehl an die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung gegeben werden; in dem Magnetzustands-Abschätzmodus ist das Magnetzustands-Ausgabemittel mit einem Magnetzustands-Korrekturmittel ausgestattet, das den magnetischen Fluss-Schätzwert oder den Temperaturschätzwert des Permanentmagneten, erhalten durch die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung unter der Bedingung, dass der vorbestimmte Magnetflusswert und ein  $\delta$ -Achsen-Strombefehl gegeben sind, durch den Magnetzustands-Korrekturwert korrigiert.

#### Vorteile der Erfindung

**[0011]** Ein Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung ermöglicht es, einen Schätzwert des magnetischen Flusses oder der Temperatur eines Permanentmagneten zu korrigieren, die verursacht werden durch individuelle Ungleichheiten eines Synchronmotors oder eines Induktivitätsfehlers; deshalb kann die Genauigkeit beim Abschätzen des magnetischen Flusses oder der Temperatur des Permanentmagneten erhöht werden. Weiterhin ermöglicht es die Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, den mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss und den  $\delta$ -Achsenstrom direkt zu steuern, die direkt mit dem von dem Synchronmotor erzeugten Drehmoment zusammenhängen; sogar wenn der Permanentmagnet demagnetisiert wird, kann das Drehmoment auf das gewünschte Drehmoment somit gesteuert werden.

**[0012]** Die vorangehenden und andere Aufgaben, Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung der vorliegenden Erfindung offenbar werden, wenn diese im Zusammenhang mit den beigefügten Abbildungen betrachtet wird.

#### Kurze Beschreibung der Abbildungen

**[0013]** Fig. 1 ist eine Systemkonfigurations-Darstellung, die eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor darstellt;

**[0014]** Fig. 2 ist ein Vektordiagramm eines Synchronmotors mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten;

**[0015]** Fig. 3 ist ein Systemkonfigurationsdiagramm, das ein Variantenbeispiel einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor zeigt;

**[0016]** Fig. 4 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Konfiguration eines Magnetzustands-Ausgabemittels in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0017]** Fig. 5 ist eine Konzept-Abbildung, die den Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i_\gamma$  und dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  darstellt unter der Bedingung eines vorbestimmten Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  und einem vorbestimmten  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i_\delta^*$  in Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung;

**[0018]** Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Konfiguration einer Magnetzustands-Schätzvorrichtung in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

**[0019]** Fig. 7 ist ein Ersatz beispielhafter Abbildungen, die den Unterschied zwischen einer Vektorabbildung in der Referenzbedingung und einer Vektorabbildung zur Zeit, wenn eine Demagnetisierung verursacht wird, unter der Bedingung, dass der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i_\delta^*$  konstant sind, in einer Vektorabbildung eines Synchronmotors mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten darstellt;

**[0020]** Fig. 8 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Konfiguration einer Stromsteuervorrichtung in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

**[0021]** Fig. 9 ist eine Abbildung, die jeweilige Beispiele von Zeitabbildungen eines Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus und eines Magnetzustands-Abschätzmodus in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt;

**[0022]** Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel eines Zeitdiagramms eines Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung darstellt;

**[0023]** Fig. 11 ist eine Systemkonfigurations-Abbildung, die ein Variantenbeispiel einer Synchronmotor-Steuervorrichtung zeigt, die von der in Fig. 3 gezeigten unterschiedlich ist, gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung, zusammen mit einem Synchronmotor;

**[0024]** Fig. 12 ist ein Systemkonfigurations-Diagramm, das eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung zusammen mit dem Synchronmotor zeigt;

**[0025]** Fig. 13 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Konfiguration eines Steuerbefehl-Berechnungsmittels in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung darstellt.

**[0026]** Fig. 14 ist eine Konzept-Abbildung zum Darstellen eines Beispiels des Zusammenhangs zwischen dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  und dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  in der Magnetflussbefehl-Erzeugungsvorrichtung in Fig. 13;

**[0027]** Fig. 15 ist ein Blockdiagramm, das ein weiteres Konfigurationsbeispiel eines Steuerbefehl-Berechnungsmittels in Fig. 13 darstellt;

**[0028]** Fig. 16 ist eine konzeptuelle Abbildung zum Darstellen eines Beispiels eines Zusammenhangs zwischen dem Drehmomentbefehl  $\tau^*$  und dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  in der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung in Fig. 15;

**[0029]** Fig. 17 ist ein Systemkonfigurations-Diagramm, das eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor zeigt; und

**[0030]** Fig. 18 ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel einer Konfiguration eines Steuerbefehl-Berechnungsmittels in einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung darstellt.

#### Ausführungsformen

**[0031]** Nachstehend werden Ausführungsformen einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Abbildungen beschrieben. In jeder der Abbildungen bezeichnen die gleichen Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Bauelemente.

#### Ausführungsform 1

**[0032]** Fig. 1 ist eine Systemkonfigurations-Abbildung, die eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor **1** zeigt. Ein Synchronmotor **1** gemäß der vorliegenden Erfindung weist einen Magnetfeld-Permanentmagneten auf. Nachstehend wird die Konfiguration einer Synchronmotor-Steuervorrichtung, die den Synchronmotor **1** gemäß Ausführungsform 1 antreibt, und die Funktionen deren Bauelemente erläutert. Mit Bezug auf die Konfiguration, von einer Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung, die zum Antreiben eines Synchronmotors benötigt wird, wird zunächst der Fluss beschrieben, von der Ausgabeseite eines elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** zu deren Eingangsseite, in der ein Spannungsbefehl erzeugt wird.

**[0033]** In Fig. 1 wird der Synchronmotor **1** mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten durch eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung gesteuert. Die Synchronmotor-Steuervorrichtung ist ausgestattet mit einem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2**, dessen Eingang und

Ausgang mit einer Leistungsquelle **13** bzw. der Ankerwicklung des Synchronmotors **1** verbunden sind, einem Stromerfassungsmittel **3**, das den Ankerstrom des Synchronmotors **1** erfasst, einer mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4**, einer Magnetfluss-Steuervorrichtung **5**, einer Stromsteuervorrichtung **6**, einem Magnetzustands-Ausgabemittel **7**, Koordinatentransformatoren **11a** und **11b** und einem Positions-Erfassungsmittel **12**. Die Leistungsquelle **13** wird aus einer Leistungsversorgungseinheit oder einer Batterie gebildet, die eine Gleichspannung ausgibt. Das Konzept der Leistungsquelle **13** enthält eine Vorrichtung, die eine Gleichspannung von einer Ein-Phasen- oder einer Drei-Phasen-Wechselstromquelle durch Verwenden eines bekannten Wandlers erhält.

**[0034]** Das elektrische Leistungswandlungsmittel **2** enthält einen Inverter (Wechselrichter), der durch ein bekanntes PWM-(Pulsweitenmodulations)Verfahren zu steuern ist, wandelt die elektrische Gleichstromleistung, die von der mit dessen Eingang verbundenen Leistungsquelle **13** geliefert wird, in eine Mehrphasen-Wechselstromleistung, und liefert die gewandelte Mehrphasen-Wechselstromleistung an die Ankerwicklung des Synchronmotors **1**. Detaillierter erzeugt das elektrische Leistungswandlungsmittel **2** eine Mehrphasen-Wechselspannung, basierend auf einem von einer später beschriebenen Stromsteuervorrichtung **6** erhaltenen Spannungsbefehl, oder um genau zu sein, basierend auf einem Mehrphasen-Wechselspannungsbefehl, der erhalten wird durch Anwenden einer Koordinaten-Transformation auf einen von der Stromsteuervorrichtung **6** eingegebenen Spannungsbefehl, und legt die Mehrphasen-Wechselspannung an der Ankerwicklung des Synchronmotors **1** an, um den Synchronmotor **1** anzutreiben. Als Ergebnis wird ein Ausgangsstrom in der Ankerwicklung des Synchronmotors **1** erzeugt. Nachstehend wird der in der Ankerwicklung produzierte Ausgangsstrom als "Ankerstrom" ausgedrückt.

**[0035]** Der Ankerstrom, der der Ausgangsstrom des Synchronmotors **1** ist, wird durch das aus einem Stromsensor oder dergleichen gebildete Stromerfassungsmittel **3** erfasst. Falls der Synchronmotor **1** ein Drei-Phasen-Rotationselektrischer Rotationsmotor ist, kann das Stromerfassungsmittel **3** auf solch eine Weise konfiguriert sein, dass alle Ankerströme der drei Phasen, das heißt  $i_u$ ,  $i_v$  und  $i_w$  des Synchronmotors **1** erfasst werden; alternativ kann das Stromerfassungsmittel **3** auf solch eine Weise konfiguriert sein, dass die Ankerströme der zwei Phasen so erfasst werden, dass der Ankerstrom einer Phase, zum Beispiel der Ankerstrom der w-Phase  $i_w$ , erhalten wird durch den Zusammenhang [ $i_w = -i_u - i_v$ ] durch Verwenden der erfassten anderen Ankerströme der zwei Phase  $i_u$  und  $i_v$ . Das Stromerfassungsmittel **3** kann gebildet werden durch Verwenden einer bekannten Technologie, in der der Ankerstrom aus einem Verbindungsgleichstrom erfasst wird, der von der Leistungsquelle **13** zu dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2** fließt, anstatt aus einem Stromsensor oder dergleichen gebildet zu werden, der den Ankerstrom jeder Phase des Synchronmotors **1** direkt erfasst.

**[0036]** Das Positions-Erfassungsmittel **12** ist aus einem bekannten Drehmelder, Codierer oder dergleichen gebildet und erfasst die Position  $\theta$  des Ankers des Synchronmotors **1**. Hier bezeichnet die Position  $\theta$  des Ankers des Synchronmotors **1** den N-Pol-Richtungswinkel eines Permanentmagneten, der das Magnetfeld bildet, hinsichtlich einer Achse, durch Einbeziehen der Ankerwicklung einer u-Phase als einer Referenz; im Allgemeinen wird die d-Achse eines rotierenden Biaxial-Koordinatensystems (nachstehend ausgedrückt als "d-q-Achse), die mit der Rotationsgeschwindigkeit (elektrische Winkelfrequenz  $\omega$ ) des Synchronmotors **1** rotiert, eingestellt zusammen mit der N-Pol-Richtung des vorangehenden Permanentmagneten, und dessen q-Achse wird eingestellt zusammen mit der senkrechten Richtung, die der d-Achse um  $90^\circ$  vorausgeht. Dies wird in der folgenden Erläuterung angewandt.

**[0037]** Der Koordinatentransformierer **11a** transformiert die Ankerströme  $i_u$ ,  $i_v$  und  $i_w$  des Synchronmotors **1** in Ströme  $i_d$  und  $i_q$  auf der d-q-Achse durch eine Berechnung gemäß der nachstehenden Gleichung (1) basierend auf der Rotorposition  $\theta$ .

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sqrt{\frac{2}{3}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{pmatrix} \dots\dots(1)$$

**[0038]** Zunächst schätzt die mit dem Anker verbundene Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4** den Betrag  $|\Phi|$  eines mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$  und die  $\gamma$ -Achse ab, entlang der der mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss erzeugt wird; insbesondere schätzt die mit dem Anker verbundene magnetische Fluss-Abschätzvorrichtung **4** den Winkel  $\angle\Phi_0$  zwischen der abgeschätzten d-Achse und der Richtung des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses (Vektor)  $\Phi$ ; basierend auf dem Ergebnis der vorangehenden Abschätzung wandelt die mit dem Anker verbundene magnetische Flussabschätzvorrichtung **4**

die d-q-Achsen-Ströme  $i_d$  und  $i_q$  in die  $\gamma$ - $\delta$ -Achsenströme  $i_\gamma$  und  $i_\delta$  und erhält den Winkel  $\angle\Phi$  (nachstehend als der Winkel eines mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses bezeichnet) zwischen einer Achse hinsichtlich der u-Phasen-Ankerwicklung und dem abgeschätzten mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss  $\Phi$ . Der mit dem Anker verbundenen magnetische Fluss  $\Phi$  bezeichnet einen kombinierten magnetischen Fluss eines magnetischen Flusses (nachstehend als Permanentmagnet-Magnetfluss bezeichnet)  $\Phi_m$ , der von dem vorhergehenden Permanentmagneten erzeugt wird, und einem magnetischen Fluss (Anker-Reaktionsmagnetfluss)  $\Phi_a$ , der von dem vorangehenden Ankerstrom erzeugt wird; in Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung wird die Richtung, die senkrecht (um  $90^\circ$  verschoben) zu der vorangehenden  $\gamma$ -Achse ist, als  $\delta$ -Achse bezeichnet.

**[0039]** Fig. 2 ist eine Vektorabbildung des Synchronmotors **1** mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten; der Zusammenhang zwischen der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse und dem Winkel  $\angle\Phi_0$  zwischen der d-Achse und der Richtung des mit dem Anker verbundenen Flusses (Vektor)  $\Phi$  und dergleichen werden dargestellt. Nachstehend wird ein geeignetes Verfahren zum Abschätzen des Betrags  $|\Phi|$  und des Winkels  $\angle\Phi_0$  des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses abgeschätzt. Falls das vorhergehende  $|\Phi|$  und  $\angle\Phi_0$  abgeschätzt werden, werden zunächst  $\Phi_d$  und  $\Phi_q$  erhalten basierend auf einem Satz von Gleichungen (2), die die Zusammenhangsgleichungen zwischen Spannungen  $v_d$  und  $v_q$  auf der d-q-Achse und der d-Achsen-Komponente  $\Phi_d$  und der q-Achsen-Komponente  $\Phi_q$  des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$  sind; dann wird aus den erhaltenen  $\Phi_d$  und  $\Phi_q$   $|\Phi|$  berechnet basierend auf der nachstehenden Gleichung (3) und der Winkel  $\angle\Phi_0$  wird basierend auf der Gleichung (4) berechnet; dann wird aus dem Winkel  $\angle\Phi_0$  und der Rotorposition  $\theta$  des Synchronmotors **1**, die von dem Positions-Erfassungsmittel **12** erfasst wird, der Winkel  $\angle\Phi$  basierend auf der Gleichung (5) berechnet.

$$\begin{cases} \Phi_d = \frac{1}{\omega} \{v_q - (R + L_q \cdot s) \cdot i_q\} \cong \frac{1}{\omega} \{v_q^* - R \cdot i_q\} \\ \Phi_q = \frac{1}{\omega} \{v_d - (R + L_d \cdot s) \cdot i_d\} \cong \frac{1}{\omega} \{v_d^* - R \cdot i_d\} \end{cases} \dots\dots(2)$$

$$|\Phi| = \sqrt{\Phi_d^2 + \Phi_q^2} \dots\dots(3)$$

$$\angle\Phi_0 = \tan^{-1}\left(\frac{\Phi_q}{\Phi_d}\right) \dots\dots(4)$$

$$\angle\Phi = \angle\Phi_0 + \theta \dots\dots(5)$$

wobei  $L_d$  die d-Achsen-Richtungsinduktanz (nachstehend als d-Achsen-Induktanz bezeichnet) ist,  $L_q$  die q-Achsen-Induktanz (nachstehend als q-Achsen-Induktanz bezeichnet) ist,  $R$  der Widerstand ist (hauptsächlich bestehend aus dem Widerstand der Ankerwicklung des Motors **1**; falls der Effekt des Widerstands der Wicklungsverdrahtung zwischen dem Synchronmotor **1** und dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2** beträchtlich ist, wird der Widerstand der Wicklungsverdrahtung auch betrachtet), und  $s$  ein Laplace-Operator ist. Das reziproke  $1/s$  des Laplace-Operators  $s$  bezeichnet eine einmalige Zeitintegration. In der in Fig. 1 gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung gezeigten Konfiguration sind die tatsächlichen Werte der Spannungen  $v_d$  und  $v_q$  auf der d-q-Achse unbekannt; anstatt einer Verwendung der Spannungen  $v_d$  und  $v_q$  auf der d-q-Achse wird deshalb die Berechnung gemäß der Gleichung (2) implementiert durch Verwenden von Spannungsbefehlen  $v_d^*$  und  $v_q^*$  auf der d-q-Achse, die zu erhalten sind durch Anwenden einer d-q-Achsen-Koordinatentransformation zu Spannungswerten  $v_\gamma^*$  und  $v_\delta^*$  auf der  $\gamma\delta$ -Achse basierend auf der nachstehenden Gleichung (6).

$$\begin{pmatrix} v_d^* \\ v_q^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\angle\Phi_0) & -\sin(\angle\Phi_0) \\ \sin(\angle\Phi_0) & \cos(\angle\Phi_0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\gamma^* \\ v_\delta^* \end{pmatrix} \dots\dots(6)$$

**[0040]** In dieser Situation wird der Winkel  $\angle\Phi_0$  benötigt, der durch die Gleichung (4) erhalten wird. Falls in einer tatsächlichen Vorrichtung diese Verarbeitungspunkte implementiert werden durch einen Mikrocomputer und in einem vorbestimmten Berechnungszyklus, wird dementsprechend das Ergebnis einer unmittelbar vorherge-

henden (um einen Berechnungszyklus vorhergehenden) Berechnung für den Winkel  $\angle\Phi_0$  angewendet; alternativ können Maßnahmen ergriffen werden, so dass eine Koordinatentransformation gemäß der Gleichung (6) implementiert wird durch den Wert, der erhalten wird durch Anwenden eines geeigneten Filters auf dem Wert des berechneten Winkels  $\angle\Phi_0$ . Wenn der Antrieb des Synchronmotors **1** gestartet wird, sind die Spannungswerte  $V_d^*$  und  $V_q^*$  auf der d-q-Achse "0" und somit sind  $\Phi_d$  und  $\Phi_q$  "0"; als die Anfangswerte der d-Achsen-Komponente  $\Phi_d$  zu einer Zeit, wenn der Antrieb des Synchronmotors **1** gestartet wird, können auf einen vorbestimmten Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$ , wie zum Beispiel ein Referenzwert, eingestellt werden.

**[0041]** Weil in der Gleichung (2) die Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  für die Berechnung angewandt wird, wird weiterhin eine Differenzoperation implementiert durch Verwenden des von dem Positions-Erfassungsmittel **12** erfassten Rotationsposition  $\theta$ , um die Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  zu erhalten. In **Fig. (2)** kann erlaubt werden, dass der den Laplace-Operator  $s$  enthaltende Term vernachlässigt wird unter der Annahme, dass sich der Strom allmählich ändert.

**[0042]** Weil der Widerstandswert sich abhängig von der Temperatur des Synchronmotors **1** ändert, kann hinsichtlich des Widerstands  $R$  erlaubt werden, den Wert des Widerstands durch Erfassen der Temperatur des Synchronmotors **1** zu korrigieren; falls weiterhin die Terme betreffend den Widerstand  $R$  kleiner als die anderen Terme sind, kann erlaubt werden, dass die Terme enthaltend den Widerstand  $R$  vernachlässigt werden und eine Information über den Ankerstrom des Synchronmotors **1** nicht verwendet wird in der Berechnung des Winkels  $\angle\Phi_0$ , so dass die Berechnung vereinfacht wird.

**[0043]** In der in **Fig. 1** dargestellten Konfiguration gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung enthält die mit dem Anker verbundene magnetische Flussabschätzvorrichtung **4** die Koordinatentransformations-Verarbeitung, in der die Ströme  $i_d$  und  $i_q$  auf der d-q-Achse in Ströme  $i_\gamma$  und  $i_\delta$  auf der  $\gamma\delta$ -Achse basierend auf dem Winkel  $\angle\Phi$  gemäß der Gleichung (7) transformiert werden; es ist jedoch nicht nötig, dass die mit dem Anker verbundene magnetische Fluss-Abschätzvorrichtung **4** die Koordinatentransformations-Verarbeitung enthält.

$$\begin{pmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\angle\Phi_0) & \sin(\angle\Phi_0) \\ -\sin(\angle\Phi_0) & \cos(\angle\Phi_0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} \dots\dots(7)$$

**[0044]** Der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i_\gamma$  und der  $\delta$ -Achsenstrom  $i_\delta$ , die in der Gleichung (7) erhalten werden, entsprechen dem Magnetisierungsstrom zum Betreiben des gesamten, mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$  des Synchronmotors **1** bzw. dem Drehmomentsstrom, der zu der Produktion des Drehmoments des Synchronmotors **1** beiträgt.

**[0045]** Bis hierhin wurde die Erläuterung für die mit dem Anker verbundene magnetische Fluss-Abschätzvorrichtung **4** gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung gemacht.

**[0046]** Die Magnetfluss-Steuervorrichtung **5** erzeugt einen  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl  $i_\gamma^*$ , so dass die Magnetflussdifferenz  $\Delta\Phi$  zwischen dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und der Größe  $|\Phi|$  des von dem die mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss-Abschätzvorrichtung **4** abgeschätzten mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses "0" wird. Weil der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i_\gamma$  ein Magnetisierungsstrom ist, der die Magnetisierungskomponente für den Synchronmotor **1** ist, kann der mit dem Anker verbundene magnetische Fluss von dem  $\gamma$ -Achsenstrom betrieben werden. Insbesondere sind die Anstiegs-/Abstiegsbetrag des Magnetisierungsstroms und der Anstiegs-/Abstiegsbetrag des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses proportional zueinander mit der  $\gamma$ -Achsen-Richtungsinduktanz  $L_\gamma$  als Proportionalitäts-Koeffizient; deshalb ist als die Steuerung zum Anpassen des Magnetflusses-Differenz  $\Delta\Phi$  auf Null zum Beispiel ein Integrator geeignet. Aus diesem Grund wird der  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl  $i_\gamma^*$  erzeugt durch Verwenden einer Integrations-Steuerberechnung, die durch die nachstehende Gleichung (8) dargestellt wird.

$$i_\gamma^* = \frac{K_f}{s} \cdot \Delta\Phi = \frac{K_f}{s} (\Phi^* - |\Phi|) \quad (8)$$

wobei  $K_f$  ein Integrationsgewinn ist.

**[0047]** Die vorhergehende Konfiguration ermöglicht es, den mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss  $\Phi$  auf einen gewünschten magnetischen Flussbefehl  $\Phi^*$  zu steuern.

**[0048]** Die Stromsteuervorrichtung **6** gibt die Spannungsbefehle  $v\gamma^*$  und  $v\delta^*$  auf der d-q-Achse aus, um die Ströme  $i\gamma$  und  $i\delta$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse mit dem Strombefehl  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  anzugleichen. Eine sogenannte Strom-Rückkopplungssteuerung wird zum Beispiel auf solch eine Weise durchgeführt, dass basierend auf den jeweiligen Differenzen zwischen den Strombefehlen  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse und den Strömen  $i\gamma$  und  $i\delta$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse, eine bekannt Proportional-Integral-Steuerung (PI-Steuerung) durchgeführt wird, um die Spannungsbefehle  $v\gamma^*$  und  $v\delta^*$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse zu erzeugen. Weil die Stromsteuervorrichtung **6** auch in dem Betrieb in dem Magnetzustands-Ausgabemittel **7** involviert ist, wird eine spezifische Konfiguration der Stromsteuervorrichtung **6** später beschrieben.

**[0049]** Die Spannungsbefehle  $v\gamma^*$  und  $v\delta$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse, die von der Stromsteuervorrichtung **6** ausgegeben werden, werden von dem Koordinatentransformierer **11b** in Spannungsbefehle  $v u^*$ ,  $v v^*$  und  $v w^*$  umgewandelt, durch die nachstehende Gleichung (9) und basierend auf der Phase  $\angle\Phi$  des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$ , die von der mit dem Anker verbundenen magnetischen Fluss-Abschätzvorrichtung **4** abgeschätzt wurden; dann werden die Spannungsbefehle  $v u^*$ ,  $v v^*$  und  $v w^*$  an das elektrische Leistungswandlungsmittel **2** ausgegeben. Unter Beachtung der Steuerberechnungs-Verzögerungszeit (Verschwendungszeit) bis die Steuerberechnung basierend auf den Ankerströmen  $i u$ ,  $i v$  und  $i w$ , die von dem Stromerfassungsmittel **3** erfasst werden, auf die Spannungen  $v u$ ,  $v v$  und  $v w$ , die von dem elektrischen Stromwandlungsmittel **2** ausgegeben werden, reflektiert werden, kann es jedoch erlaubt werden, dass in der Gleichung (9) die Koordinatentransformation durchgeführt wird mit einer Phase, die erhalten wird durch Korrigieren der Phase  $\angle\Phi$  durch einen Phasen-Korrekturbetrag  $\Delta\theta d$  basierend auf der Steuerberechnungs-Verzögerungszeit. Im Fall der Ausführungsform 1 legt das elektrische Leistungswandlungsmittel **2** die Spannungen  $v u^*$ ,  $v v^*$  und  $v w^*$  an dem Synchronmotor **1** an basierend auf den Spannungsbefehlen  $v u^*$ ,  $v v^*$  und  $v w^*$ , durch das bekannte PWM-Steuerverfahren oder dergleichen.

$$\begin{pmatrix} v u^* \\ v v^* \\ v w^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\angle\Phi) & -\sin(\angle\Phi) \\ \sin(\angle\Phi) & \cos(\angle\Phi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V\gamma^* \\ V\delta^* \end{pmatrix}$$

$$\approx \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\angle\Phi + \Delta\theta d) & -\sin(\angle\Phi + \Delta\theta d) \\ \sin(\angle\Phi + \Delta\theta d) & \cos(\angle\Phi + \Delta\theta d) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V\gamma^* \\ V\delta^* \end{pmatrix}$$

.....(9)

**[0050]** Fig. 3 ist ein Systemkonfigurations-Diagramm, das ein Variantenbeispiel einer Synchronmotor-Steuvorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor zeigt. Das vorhergehende Positions-Erfassungsmittel **12** in Fig. 1 wird verwendet, falls die Position  $\theta$  des Ankers des Synchronmotors **1** durch Verwenden eines bekannten Drehmeters oder Codierers erfasst wird; eine in Fig. 3 gezeigte Synchronmotor-Steuvorrichtung ist jedoch mit einem Positions-Erfassungsmittel **12a** ausgestattet, das eine geeignete bekannte Beobachtungsvorrichtung oder dergleichen verwendet und die Rotorposition  $\theta$  abschätzt durch eine Berechnung basierend auf eine Spannungsbefehl, einem Ankerstrom und dergleichen. Die Konfiguration des Positions-Erfassungsmittel **12a** kann realisiert werden durch die in Patentdokument **4** oder **5** beschriebene Konfiguration; deshalb wird deren Erläuterung hierin ausgelassen. Der Unterschied zwischen Fig. 1 und Fig. 3 liegt nur in den Gegenständen betreffend das Positions-Erfassungsmittel **12** (**12a**) und in der Tatsache, dass die mit dem Anker verbundene Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4** in eine mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4a** geändert wird, die auf solch eine Weise konfiguriert ist, die Spannungsbefehle  $v d^*$  und  $v q^*$  auf der darin berechneten d-q-Achse nach außen auszugeben; die anderen Konfigurationen sind die gleichen.

**[0051]** Was bis hierhin beschrieben wurde, ist die Konfiguration der Synchronmotor-Steuvorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung, die benötigt wird zum Antreiben des Synchronmotors **1**. Weil das Drehmoment des Synchronmotors **1** proportional zu dem Produkt des mit dem Anker verbundenen Ma-

gnetflusses  $\Phi$  und dem  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$  ist, kann der mit dem Anker verbundene Magnetfluss  $\Phi$  und der  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$  in dieser Konfiguration direkt gesteuert werden; durch geeignetes Einstellen sowohl des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$  kann das Drehmoment gewünscht gesteuert werden, unabhängig davon, ob der Permanentmagnet demagnetisiert ist oder nicht.

**[0052]** Als Nächstes wird das Magnetzustands-Ausgabemittel **7** erläutert, die die Konfiguration ist, die benötigt wird zum Abschätzen der Temperatur oder des Magnetflusses des Magnetfeld-Permanentmagneten des Synchronmotors **1**, das ein Merkmal der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung ist; zusätzlich wird die vorhergehende Stromsteuervorrichtung **6** zusätzlich erläutert. **Fig. 4** ist eine Abbildung, die ein Beispiel der Konfiguration des Magnetzustands-Ausgabemittels in **Fig. 1** oder **Fig. 3** zeigt. In **Fig. 4** ist das Magnetzustands-Abschätzmittel **7** mit der Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** und dem Magnetzustands-Korrekturmittel **9** ausgestattet.

**[0053]** Die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** speichert vorläufig eine Abbildung (Karte) oder eine Gleichung, die den Zusammenhang anzeigt zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$ , der verursacht wird durch eine Temperaturänderung zu der Zeit, wenn ein vorbestimmter Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  gegeben werden; wenn die  $\gamma$ -Achse  $i\gamma$  darin eingegeben wird, nimmt die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** Bezug auf die Abbildung oder die Gleichung und gibt einen Permanentmagneten-magnetischen Flussabschätzwert  $\Phi_{m0}$  aus. Die vorhergehende Karte oder Gleichung wird vorläufig erhalten durch Verwenden von Charakteristikdaten des Synchronmotors **1**, wenn die Charakteristiken (wie zum Beispiel eine Induktanzänderung und eine magnetische Demagnetisierungs-Charakteristik) des Synchronmotors **1** durch eine Analyse oder dergleichen bekannt sind; wenn nicht bekannt, ist es nur nötig, die Charakteristikdaten durch eine tatsächliche Messung zu erhalten. Anstatt dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  an die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** einzugeben, kann der Spannungsbefehl  $i\gamma^*$ , der von der Magnetfluss-Steuervorrichtung **5** ausgegeben wird, verwendet werden.

**[0054]** **Fig. 5** ist eine Konzeptabbildung, die ein Beispiel des Zusammenhangs zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  darstellt unter der Bedingung eines vorbestimmten magnetischen Flussbefehls  $\Phi^*$  und eines vorbestimmten  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$ . **Fig. 5**, in der die Abzisse den  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  bezeichnet und die Ordinate den Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  bezeichnet, stellt die Korrelation zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  dar. Die Charakteristik der **Fig. 5** mit dem vorbestimmten magnetischen Flussbefehl  $\Phi^*$  an dem vorbestimmten  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ist vorläufig als Abbildung (Gleichung) gespeichert; dann werden die gleichen Spannungsbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) gegeben, um den Synchronmotor **1** anzutreiben, so dass es ermöglicht wird, dass der Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  aus dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  abgeschätzt wird und dann der abgeschätzte Wert  $\Phi_{m0}$  ausgegeben wird.

**[0055]** Zusätzlich kann es erlaubt werden, dass, wie in **Fig. 6** dargestellt, die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** mit einem Magnetzustands-Referenzmittel **81** (**81a** bis **83c** in dem in **Fig. 6** gezeigten Beispiel) ausgestattet ist, die Karten oder Abbildungen enthalten, die jeweilige Korrelationen zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-magnetischen Fluss (Abschätzwert  $\Phi_{m0}$ ) für zwei oder mehr Steuerbefehle darstellt, das heißt Steuerbefehle, die konfiguriert sind mit Paaren des magnetischen Flussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$ .

**[0056]** Wenn, wie in **Fig. 6** dargestellt, die Permanentmagneten-magnetischen Flussabschätzwerte  $\Phi_{m0}$  ausgegeben werden, basierend auf dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$ , für jede der zwei oder mehr Steuerbefehle, die mit den Paaren des magnetischen Flussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsenstroms  $i\delta^*$  konfiguriert sind, wird es ermöglicht, dass, wenn der magnetische Fluss der Temperatur des Permanentmagneten abgeschätzt wird, der Grad der Flexibilität beim Ausgeben des Paares des magnetischen Flussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$  erhöht wird, das heißt der Flexibilitätsgrad des Ausgangsdrehmoments wird beim Durchführen der Abschätzung erhöht.

**[0057]** Wenn zu einer Zeit, wenn der Synchronmotor **1** angetrieben wird, Steuerbefehle ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) existieren, die mit einer Steuerbefehlbedingungen in dem zwei oder mehr vorläufig bereitgestellten magnetischen Zustandsreferenzmittel übereinstimmen, kann der Permanentmagneten-Magnetfluss-Abschätzwert  $\Phi_{m0}$  ausgegeben werden durch Bezugnahme auf den  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  der Abbildung (oder dergleichen) in dem magnetischen Bedingungsreferenzmittel **81**, dessen Steuerbefehlbedingungen mit den Steuerbefehlen übereinstimmen. In dem Fall, dass keine Steuerbefehle zu der Zeit, wenn der Synchronmotor **1** angetrieben wird, mit den Steuerbefehlbedingungen in jeder der vorläufig bereitgestellten Magnet-Bedingungsreferenzmittel **81** übereinstimmen, ist es nur nötig, den Magnetischer-Fluss-Schätzwert in dem unmittelbar vorausgehenden Abschätzbe-

trieb zu halten, anstelle einer Durchführung des Permanentmagneten-Magnetflussabschätzbetriebs, und den vorhergehenden Magnetflussschätzwert als den Permanentmagneten-Magnetflussschätzwert  $\Phi_{m0}$  auszugeben. Wenn Spannungsbefehlsbedingungen existieren, in dem vorläufig bereitgestellten Magnet-Bedingungsreferenzmittel **81**, die mit dem Drehmoment (d. h. dem Produkt des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  und dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ ) übereinstimmen, ist es alternativ nur nötig, eine Verarbeitung zu implementieren, in der die Steuerbefehle geändert werden zu den Bedingungen des magnetischen Flussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsenstrombefehls  $i\delta^*$  in dem vorhergehenden magnetischen Bedingungsreferenzmittel **81** und dann wird in der Permanentmagnet-magnetische Flussabschätzbetrieb durchgeführt.

**[0058]** Durch Verwenden einer Vektorabbildung des Synchronmotors wird hier das Prinzip erklärt, in dem, wenn als vorbestimmte Steuerbefehle der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  gegeben werden, der Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  basierend auf dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  abgeschätzt werden kann. **Fig. 7** ist ein Satz von beispielhaften Abbildungen, die die Differenz darstellen zwischen einer Vektor-Abbildung in dem Referenzzustand und einer Vektor-Abbildung zu einer Zeit, wenn eine Demagnetisierung verursacht wird, in dem Zustand, in dem der magnetische Flussbefehl  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  konstant sind, in einer Vektor-Abbildung eines Synchronmotors mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten. **Fig. 7(A)** ist eine Vektor-Abbildung zu einer Zeit, wenn der Permanentmagnet in dem Referenzzustand ist, das heißt keine Magnetisierung in dem Permanentmagnet verursacht wird; **Fig. 7(B)** ist eine Vektor-Abbildung zu einer Zeit, wenn der magnetische Fluss sich verringert um einen Betrag entsprechend der Demagnetisierung des Permanentmagneten, veranlasst durch einen Temperaturanstieg in dem Synchronmotor **1**, das heißt durch  $\Delta\Phi_{mag}$ , wenn der Permanentmagnet in einem stabilen Zustand ist, wo der Betrag  $|\Phi|$  des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses und der  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$  konstant sind unter der Annahme, dass der magnetische Fluss  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ , die vorbestimmte Steuerbefehle sind, konstant sind, das heißt gewünscht gesteuert werden.

**[0059]** Die vorhergehende Demagnetisierung des Permanentmagneten ändert die Richtung des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$ , das heißt die Richtung der  $\gamma$ -Achse; deshalb tritt eine Änderung auf zwischen dem Vor-Demagnetisierungs- $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Nach-Demagnetisierungs- $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$ , sogar wenn der magnetische Flussbefehl  $\Phi^*$  und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  konstant gehalten werden. Eine Unterdrückung einer Änderung des  $\gamma$ -Achsenstroms  $i\gamma$  macht es möglich, den Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  davon abzuhalten, sich zu ändern. Im Prinzip ermöglicht es sogar die Konfiguration, die aus nur der Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** besteht, den Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  abzuschätzen; die Größe einer Änderung in dem magnetischen Fluss des Magneten, verursacht durch die Permanentmagneten-Magnetisierung aufgrund eines Temperaturanstiegs in dem Synchronmotor **1**, ist nicht groß; deshalb ist es nötig, dass die vorhergehende Änderung in dem Anker-Reaktionsmagnetfluss  $\Phi_a$  aufgrund einer Änderung des Ankerstroms genau erfasst wird und dann der Zusammenhang zwischen der  $\gamma$ -Achsenstrom  $\gamma$  und dem Permanentmagnet-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  in vorbestimmten Zuständen der Steuerbefehle ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) erhalten wird.

**[0060]** Die Größe des Anker-Reaktionsmagnetflusses  $\Phi_a$  hängt ab von dem Ankerstrom und der d-Achsen-Induktanz  $L_d$  oder der q-Achsen-Induktanz  $L_q$ . Wenn basierend auf Charakteristikdaten über den Synchronmotor **1**, die vorläufig aus einer Analyse erhalten werden, der Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $\gamma$  und dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$ , der verursacht wird durch eine Temperaturänderung zu einer Zeit, wenn vorbestimmte Steuerbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) gegeben werden, erhalten wird, wird die Größe des Anker-Reaktionsmagnetflusses  $\Phi_a$  fehlerhaft abgeschätzt, wenn es einen Fehler in einem der Induktanzwerte gibt; deshalb kann kein genauer Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-magnetischen Fluss  $\Phi_m$  erhalten werden und somit kann der Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  basierend auf einer fehlerhaften Abbildung oder dergleichen abgeschätzt werden.

**[0061]** Falls eine Vielzahl von Synchronmotoren mit der gleichen Leistungsfähigkeit und Spezifikation verwendet werden, ist es ideal, dass der Widerstand  $R$ , die d-Achsen-Induktanz  $L_d$  oder die q-Achsen-Induktanz  $L_q$ , und die Werte des Permanentmagneten-Magnetflusses bei einer Referenztemperatur die gleichen sind; weil in der Praxis individuelle Ungleichheiten existieren, ändert sich der Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $\gamma$  und dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  abhängig von den individuellen Ungleichheiten. Sogar wenn eine der Vielzahl von Synchronmotoren mit der gleichen Leistungsfähigkeit und Spezifikation entnommen wird und Charakteristikdaten durch tatsächliche Messungen gesammelt werden, um die vorangehende Karte oder Gleichung zu erhalten, stimmt zum Beispiel der Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  für die gleichen Steuerbefehle nicht notwendiger Weise mit der vorhergehenden Abbildung (Gleichung) in einer anderen entnommenen Synchronmotor überein, aufgrund der individuellen Unterschiede.

**[0062]** Dementsprechend ist es wünschenswert, einen Abschätzfehler zu korrigieren in dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$ , der verursacht wird durch die individuellen Unterschiede oder den Induktanzfehler des Synchronmotors **1**; somit ist eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung auf solch eine Weise konfiguriert, dass das Magnetzustands-Korrekturmittel **9** eine Korrektur anwendet entsprechend dem Abschätzfehler auf den von dem Magnetzustands-Abschätzmittel **8** abgeschätzten Permanentmagneten-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{m0}$  zu einer Zeit, wenn vorbestimmte Steuerbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) gegeben werden.

**[0063]** In der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung werden zwei Betriebsmodi spezifiziert; das heißt "ein Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus", in dem ein Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  berechnet wird zum Korrigieren eines Abschätzfehlers, in dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$ , der verursacht wird durch die individuellen Unterschiede oder den Induktanzfehler des Synchronmotors **1**, und ein "Magnetzustands-Abschätzmodus" in dem, nachdem vorbestimmte Steuerbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) gegeben werden und die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** den Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  abschätzt, das Magnetzustands-Korrekturmittel **9** eine Korrektur anwendet entsprechend dem vorhergehenden Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  auf den Abschätzwert  $\Phi_{m0}$  und dann den korrigierten Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_{mag}$  ausgegeben wird.

**[0064]** Um die zwei Modi zu spezifizieren, werden die zwei vorhergehenden Modi eingestellt durch variable Modi in der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung. Es muss nicht gesagt werden, dass es erlaubt werden kann, dass ein Modus existiert, der sich von den vorhergehenden zwei Modi unterscheidet und in dem weder der Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  berechnet wird, noch der Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_m$  ausgegeben wird.

**[0065]** Zunächst wird der "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" erläutert, in dem der Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  zum Korrigieren eines Schätzfehlers in dem Permanentmagneten-Magnetfluss  $\Phi_m$  berechnet wird.

**[0066]** Wie in dem ersten Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" wird ein Nicht-Energiezuführungszustand erzeugt, in dem kein Strom in den Synchronmotor fließt, und dann wird in dieser Situation die Größe des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses  $\Phi$  erhalten durch die mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4**. Wenn der Synchronmotor nicht mit Energie versorgt wird, wird der mit dem Anker verbundene Magnetfluss gebildet nur mit dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$ ; deshalb stimmen der Betrag  $|\Phi|$  des mit dem Anker verbundenen magnetischen Flusses und die Größe des Permanentmagnet-Magnetflusses  $\Phi_m$  miteinander überein.

**[0067]** Deshalb werden die Strombefehle  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse, die die Eingaben der Stromsteuervorrichtung **6** sind, eingestellt auf solch eine Weise, dass der Ankerstrom des Synchronmotors **1** Null wird (d. h.  $i\gamma^* = i\delta^* = 0$ ), so dass die Ausgabe  $\Phi_0$  der mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4** gleich dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  wird.

**[0068]** Weil der Synchronmotor nicht mit Energie versorgt wird, ist die Ausgabe  $\Phi_0$  der mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4** nicht dem Effekt der Induktanz und dem Effekt der Spannungsausgabe-Genauigkeit unterworfen, von einem Spannungswandlungsmittel **2**, das auf einer bekannten Totzeit abhängt; somit stimmt die Ausgabe  $\Phi_0$  der mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4** ungefähr mit dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  überein. Um einen Nicht-Energiezuführungszustand für den Synchronmotor zu erzeugen, muss dessen Geschwindigkeit in einem Bereich sein, in dem die (unbelastete) Induktionsspannung, die in dem Anker des Motors **1** erzeugt wird, gleich oder kleiner als die ausgebare Spannung des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** ist. In einem Geschwindigkeitsbereich, in dem die (unbelastete) Induktanzspannung, die in dem Anker des Synchronmotors **1** erzeugt wird, die ausgebare Spannung des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** übersteigt, ist es nötig, einen Schwächungs-Magnetfluss-Strom zu erzeugen zum Unterdrücken wenigstens des Anstiegs des Induktionsspannungsflusses in der Ankerwicklung; deshalb kann der Nicht-Energiezuführungszustand nicht erzeugt werden.

**[0069]** Um es zu ermöglichen, den "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" einzustellen, muss dessen Geschwindigkeit in einem Bereich ist, in dem die (unbelastete) Induktionsspannung, die in dem Anker des Synchronmotors **1** erzeugt wird, gleich oder kleiner als die ausgebare Spannung des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** ist.

**[0070]** Ein Beispiel eines Verfahrens zum Einstellen des Synchronmotors in einen Nicht-Energiezuführungszustand wird hier basierend auf der Konfiguration der Stromsteuervorrichtung **6** erläutert. **Fig. 8** ist eine Abbildung, die ein Beispiel der Konfiguration der Stromsteuervorrichtung **6** in **Fig. 1** oder **Fig. 3** zeigt. Falls in der Stromsteuervorrichtung **6** eine bekannte Proportional-Integral-Steuerung (PI-Steuerung) implementiert ist, wenn zum Beispiel der variable Modus in **Fig. 8** "0" ist, und der erste Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" eingestellt, und wenn der variable Modus "1" ist, wird der nachher genannte zweite Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" oder des "Magnetzustands-Schätzmodus" eingestellt; wenn als der variable Modus "0" eingegeben wird, wird "0" als jeder der Strombefehle  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse ausgewählt, und wenn als der variable Modus "1" eingegeben wird, werden (die Werte von)  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  ausgewählt, wie in dem Fall des Normalbetriebs. In **Fig. 8** werden die Auswahlbetriebe für  $i\delta^*$  und  $i\gamma^*$  gezeigt durch Verwenden der Schalter **22a** bzw. **22b**; andere Mittel, die die gleichen Funktionen aufweisen, können jedoch verwendet werden. basierend auf der Differenz zwischen den (Werten von) Strombefehlen  $i\gamma^*$  und  $i\delta^*$  und der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse und den Strömen  $i$ - $\gamma$ -Achse und  $i$ - $\delta$ -Achse, wird die Proportional-Integral-Steuerung (PI-Steuerung) durchgeführt durch die PI-Steuerungen **23a** und **23b**, so dass die Spannungsbefehle  $v\gamma^*$  und  $v\delta^*$  auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse erzeugt werden und, wenn der Modus "0" ist, das heißt in dem ersten Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus", wird der Synchronmotor gesteuert, um in den Nicht-Energiezuführungszustand zu kommen.

**[0071]** Als Nächstes wird als der zweite Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" der Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  ( $= \Delta\Phi_{m1}$ ) erhalten zu einer Zeit, wenn als vorbestimmte Steuerbefehle der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) gegeben sind.

**[0072]** Im Allgemeinen ist die (Zeitkonstante der) Temperaturänderung in dem Permanentmagneten kleiner als die (Zeitkonstante der) Temperaturänderung in der Ankerwicklung; deshalb werden der erste Schritt und der zweite Schritt bevorzugter Weise kontinuierlich implementiert zu einer Zeit, wenn die Temperaturänderung in dem Permanentmagnet klein ist, so dass die Temperatur-(Magnetfluss)Änderung in dem Permanentmagneten fast vernachlässigt werden kann. In dem zweiten Schritt werden der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und der  $\delta$ -Achsenstrombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) gegeben; basierend auf einer Abbildung (Gleichung), die vorläufig erzeugt wird in dem Zustand des vorhergehenden Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls und der Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  anzeigt, erhält die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** dann den Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{m0}$  ( $= \Phi_{m1}$ ). Falls in den ersten und zweiten Schritten sich die Permanentmagnettemperatur (Magnetfluss) nicht ändert und die vorhergehende Abbildung genau erhalten werden kann, stimmt die Ausgabe  $\Phi_0$  der mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4**, die in dem ersten Schritt erhalten wird, mit dem in dem zweiten Schritt erhaltenen Permanentmagnet-Magnetfluss-Abschätzwert  $\Phi_{m0}$  überein.

**[0073]** Wenn die vorhergehende Abbildung (Gleichung) einen Fehler enthält, der durch individuelle Unterschiede oder einen Induktanzfehler verursacht wird, tritt jedoch eine fehlerhafte Differenz zwischen  $\Phi_0$  und  $\Phi_{m1}$  auf; durch Korrigieren der fehlerhaften Differenz zwischen  $\Phi_0$  und  $\Phi_{m1}$ , kann somit der Magnetfluss genau abgeschätzt werden, sogar wenn die vorhergehende Abbildung (Gleichung) einen Fehler enthält. Dementsprechend wird die Differenz zwischen  $\Phi_0$  und  $\Phi_{m1}$  erhalten, so dass der Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  ( $= \Delta\Phi_{m1}$ ) in dem Zustand eines Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) erhalten wird und dann der Wert von  $\Delta\Phi_{m1}$  gespeichert wird.

**[0074]** Bis hierhin wurde eine Abfolge des Betriebs des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" beschrieben.

**[0075]** Als Nächstes wird der Betrieb des "Magnetzustands-Abschätzmodus" erläutert werden.

**[0076]** Der gleiche Zustand zu einer Zeit, wenn in dem vorhergehenden "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" der Korrekturwert  $\Delta\Phi_m$  ( $= \Delta\Phi_{m1}$ ) erhalten wird, das heißt der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) gegeben sind; dann nimmt die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8** Bezug auf den  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$ , der geflossen ist in dem Zustand der Steuerbefehle, in einer Abbildung (Gleichung), die den Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  anzeigt, und gibt dann den Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{m0}$  ( $= \Phi_{m1}$ ) aus. Wenn die Magnettemperatur in dem "Magnetzustand-Schätzmodus" und die Magnettemperatur in dem "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" voneinander abweichen, tritt eine Differenz zwischen den vorhergehenden  $\Phi_{m1}$  und  $\Phi_{m1'}$  auf, die einer Magnetflussänderung entspricht, die durch die Magnettemperatur verursacht wird.

**[0077]** Als dem (korrelierten) Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{\text{mag}}$  gibt das Magnetzustands-Ausgabemittel **7** den Wert  $(\Phi_{\text{m1}}' + \Delta\Phi_{\text{m1}})$  aus, der erhalten wird durch Korrigieren des ausgegebenen Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwerts  $\Phi_{\text{m1}}'$  um den Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m1}}$ . **Fig. 9** zeigt die jeweiligen Magnetfluss-Schätzbetriebe in dem "Magnetzustand-Schätzmodus" und dem "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus"; **Fig. 9** ist eine Abbildung, die jeweilige Beispiele von Zeitverläufen des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" und des "Magnetzustand-Schätzmodus" in der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0078]** Das Folgende ist die Zusammenfassung der Betriebe der Magnetzustands-Schätzvorrichtung **8** und des Magnetzustands-Korrekturmittels **9** in dem "Magnetzustand-Schätzmodus" und dem "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus", in dem angenommen wird, dass ein Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) gegeben sind.

– Der "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus"

- Die Magnetzustands-Abschätzvorrichtung **8**

Der erste Schritt: Sie kann nicht betrieben werden.

Der zweite Schritt: Sie gibt  $\Phi_{\text{m0}}$  ( $= \Phi_{\text{m1}}$ ) aus.

- Das Magnetzustands-Korrekturmittel **9**

Der erste Schritt: Es hält die Ausgabe  $|\Phi|$  ( $= \Phi_0$ ) der mit dem Anker verbundenen Magnetfluss-Abschätzvorrichtung **4**.

Der zweite Schritt: Es hält den Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  ( $= \Delta\Phi_{\text{m1}}$ ), der aus der Differenz zwischen  $\Phi_0$  und  $\Phi_{\text{m1}}$  erhalten wird.

– Der "Magnetzustand-Schätzmodus"

- Das Magnetzustands-Schätzvorrichtung **8**: Sie gibt  $\Phi_{\text{m0}}$  ( $= \Phi_{\text{m1}}$ ) aus.

- Das Magnetzustands-Korrekturmittel **9**: Es gibt den Korrekturbetrag  $\Delta\Phi_{\text{m1}}$  für  $\Phi_{\text{m1}}'$  aus.

**[0079]** Falls die Magnetzustands-Schätzvorrichtung **8**, die das Magnetzustands-Referenzmittel **81** für jede der Vielzahl von Steuerbefehlen, bestehend aus Paaren von dem Magnetflussbefehl  $\phi^*$  und dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ , die in **Fig. 6** dargestellt sind, ist es nur nötig, den Korrekturwert  $\delta\phi_{\text{m}}$  für jede der Steuerbefehle in dem zweiten Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" zu erhalten.

**[0080]** **Fig. 10** ist eine Abbildung, die ein Beispiel eines Zeitablaufs des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" in der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt, falls die Magnetzustands-Schätzvorrichtung **8** bereitgestellt wird, die das Magnetzustands-Referenzmittel **81** für jede der Vielzahl von Steuerbefehlen enthält.

**[0081]** In **Fig. 10** wird der erste Schritt des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" auf die gleiche Weise wie oben beschrieben implementiert; als der zweite Schritt werden zunächst der Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  ( $= \Delta\Phi_{\text{m1}}$ ) zu der Zeit, wenn als vorbestimmte Steuerbefehle der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_1$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_1$ ) gegeben werden, auf die gleiche Weise wie oben beschrieben erhalten. Weiterhin werden der Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  ( $= \Delta\Phi_{\text{m2}}$ ) zu einer Zeit, wenn der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_2$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_2$ ), die verschieden von der vorhergehenden Befehlen sind, gegeben werden, auf die gleiche Weise wie oben beschrieben erhalten. Weiterhin wird der Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  ( $= \Delta\Phi_{\text{m3}}$ ) auf die gleiche Weise wie oben beschrieben erhalten zu einer Zeit, wenn der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ( $= \Phi_3$ ) und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  ( $= i_3$ ), die verschieden von der vorhergehenden Befehlen sind, gegeben werden. Hinsichtlich der jeweiligen Steuerbefehle in dem Magnetzustands-Referenzmittel, werden diese Arbeitspunkte Stromquelle implementiert in eine Zeitperiode, die keinen Anstieg der Permanentmagnet-Temperatur hervorruft, um die Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  für jeden der vorhergehenden Steuerbefehle zu erhalten und zu speichern.

**[0082]** Der durch die individuellen Unterschiede oder den Induktanzfehler verursachte Fehler hängt kaum ab von der Rotationsgeschwindigkeit des Synchronmotors **1**; um die Permanentmagnet-Temperatur davon abzuhalten, zu steigen, ist es geeignet, dass, wenn die Rotationsgeschwindigkeit des Synchronmotors **1** niedrig ist, die Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  Stromquelle erhalten werden, so dass der Eisenverlust in dem Synchronmotor **1** verringert wird und eine von dem Eisenverlust verursachte Wärmezeugung unterdrückt wird.

**[0083]** In dem "Magnetzustand-Schätzmodus" wird ein Paar der Steuerbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) ausgewählt aus der Vielzahl von Steuerbefehlszuständen in dem Magnetzustands-Referenzmittel **81**; der Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{\text{m0}}$  wird auf die gleiche Weise wie oben beschrieben erhalten; der Korrekturwert  $\Delta\Phi_{\text{m}}$ , für den vorhergehenden Steuerbefehlszustand, der vorläufig durch das oben beschriebene Verfahren gespeichert wurde, wird erhalten; durch Korrigieren von  $\Phi_{\text{m0}}$  durch  $\Delta\Phi_{\text{m}}$  wird der korrigierte Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{\text{mag}}$  erhalten.

**[0084]** Es wurde ein Beispiel bis hierhin beschrieben, in dem vorbestimmte Steuerbefehle ( $\Phi^*$  und  $i\delta^*$ ) gegeben werden, um den Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  abzuschätzen; wenn der Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  abgeschätzt wird, falls es nicht nötig ist, dass der Synchronmotor **1** ein Drehmoment erzeugt, kann es erlaubt werden, dass durch Steuern des  $\delta$ -Achsen-Stroms auf "0", das heißt durch Geben von "0" als den  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ , der Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzbetrieb implementiert wird in dem unbelasteten Zustand.

**[0085]** Wie oben beschrieben, ist das Drehmoment des Synchronmotors **1** proportional zu dem Produkt des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses  $\Phi$  und dem  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$ ; wenn der  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$  Null ist, wird das Drehmoment Null unabhängig von dem Magnetflussbefehl  $\Phi$ .

**[0086]** Wenn erreicht wird, dass nur der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  fließt, so dass der  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta$  Null wird, liegen alle Vektoren des Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$ , der durch den  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  produzierte Anker-Reaktions-Magnetfluss  $\Phi_a$  und der gesamte mit dem Anker verbundene Magnetfluss  $\Phi$  auf einer einzigen und der gleichen Achse, und die  $\gamma$ -Achse wird gleich der d-Achse, und die  $\delta$ -Achse wird gleich der q-Achse. Das heißt, die Gleichung " $\Phi_a = L\gamma \cdot i\gamma = Ld \cdot id$ " wird aufgebaut; somit wird ein Vorteil gezeigt, dass, sogar wenn ein Fehler in der q-Achsen-Induktanz  $L_q$  existiert, dieser Fehler keinen Effekt hat.

**[0087]** In der Niedriggeschwindigkeitszone, in der es nicht nötig ist, einen Schwächungs-Magnetfluss-Stromfluss in der Ankerwindung fließen zu lassen, wird zum Beispiel, als der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , der Wert des Permanentmagnet-Magnetflusses zu einer Zeit eingestellt, wenn aufgrund einer Wärmeerzeugung eine Demagnetisierung erzeugt wird (z. B. bei 100°C) und eine Abbildung (Gleichung), die den Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  anzeigt, zu einer Zeit des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  ( $i\delta^* = 0$ ) vorläufig bereitgestellt wird, so dass bei einer Temperatur um 100°C der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und der Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  fast miteinander übereinstimmen und somit der Anker-Reaktions-Magnetfluss  $\Phi_a$  kaum erzeugt wird; deshalb fließt der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  kaum und somit kann der Effekt des vorhergehenden Induktanzfehlers reduziert werden.

**[0088]** In der Hochgeschwindigkeitszone, in der es nötig ist, den Schwächungs-Magnetfluss-Stromfluss in der Ankerwindung fließen zu lassen, wird zum Beispiel als der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ein Wert eingestellt, der klein genug für den Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  ist, so dass die in dem Anker des Synchronmotors **1** erzeugte (unbelastete) Induktionsspannung gleich oder kleiner als die ausgebbare Spannung des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** ist und eine Abbildung (Gleichung), die den Zusammenhang zwischen dem  $\gamma$ -Achsenstrom  $i\gamma$  und dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_m$  anzeigt zu einer Zeit des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  ( $i\delta^* = 0$ ) wird vorläufig bereitgestellt, so dass, sogar wenn ein Schwächungs-Magnetflussstrom, der dazu führt, dass der vorhergehende Induktanzfehler einen Effekt bereitstellt, in dem Anker fließt, die Kombination des "Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus" und des "Magnetzustand-Schätzmodus" den Effekt des Induktanzfehlers reduzieren kann.

**[0089]** In der Konfiguration in **Fig. 1** ist die Ausgabe des Magnetzustands-Schätzmittels **7** der (korrigierte) Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{mag}$ ; die Permanentmagnet-Temperatur und die Permanentmagnet-Magnetflüsse sind jedoch miteinander korreliert; somit ermöglicht es eine Erfassung der Korrelation zwischen diesen, einen Permanentmagnettemperatur-Auswertungswert  $T_{mag}$  als die Ausgabe des Magnetzustands-Ausgabemittels **7** zu benutzen. **Fig. 11** ist ein System-Konfigurationsdiagramm, das zusammen mit einem Synchronmotor **1** eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung zeigt, die sich von der Synchronmotor-Steuervorrichtung in **Fig. 1** unterscheidet; die Ausgabe des Magnetzustands-Ausgabemittels **7** (**7a** in **Fig. 11**) hat sich von dem Permanentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{mag}$  zu dem Permanentmagnet-Temperatur-Schätzwert  $T_{mag}$  geändert. In dem Fall eines Permanentmagneten, in dem 1% einer Demagnetisierung verursacht wird, wenn die Temperatur um 10°C steigt, ist zum Beispiel der Zusammenhang zwischen der Permanentmagnettemperatur (Schätzwert)  $T_{mag}$  und dem Permanentmagnet-Magnetfluss (Schätzwert)  $\Phi_{mag}$  durch die nachstehende Gleichung (10) gegeben, wobei  $T_b$  und  $\Phi_{mTb}$  eine Referenztemperatur bzw. den (Referenz) Permanentmagnet-Magnetfluss zu einer Zeit, wenn die Temperatur  $T_b$  ist, bezeichnet.

$$\Phi_{mag} = \Phi_{mTb} \cdot \{1 - (T_{mag} - T_b) \cdot 0.001\} \quad (10)$$

**[0090]** Durch Verwenden des Zusammenhangs in Gleichung (10) wird es möglich, den Permanentmagnettemperatur-Schätzwert  $T_{mag}$  als die Ausgabe des Magnetzustands-Ausgabemittels **7** zu verwenden. Obwohl nicht dargestellt, muss weiterhin nicht gesagt werden, dass, wenn in dem Magnetzustands-Ausgabemittel in **Fig. 4** die Ausgabe der Magnetzustands-Schätzevorrichtung **8** geändert wird von dem (unkorrigierten) Perma-

nentmagnet-Magnetfluss-Schätzwert  $\Phi_{m0}$  zu dem (unkorrigierten) Permanentmagnet-Temperaturschätzwert  $T_{m0}$ , kann der von dem Magnetzustands-Korrekturmittel **9** zu enthaltende Korrekturbetrag geändert werden von dem Magnetfluss-Korrekturbetrag  $\Delta\Phi_m$  zu dem Temperatur-Korrekturbetrag  $\Delta T_m$ . Obwohl nicht speziell dargestellt, anstelle des Positions-Erfassungsmittels **12** in **Fig. 11**, kann das Positions-Erfassungsmittel **12a** in **Fig. 3** wie in dem Fall mit **Fig. 1** verwendet werden.

**[0091]** Wie oben beschrieben, ermöglicht es die Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung, einen Schätzfehler des Magnetflusses oder der Temperatur des Permanentmagneten zu korrigieren, der verursacht wird durch die individuellen Unterschiede oder den Induktanzfehler des Synchronmotors **1**; deshalb wurde ein Vorteil gezeigt, dass die Schätzgenauigkeit für den Magnetfluss oder die Temperatur des Permanentmagneten erhöht werden kann. Weiterhin können der mit dem Anker verbundene Magnetfluss und der  $\delta$ -Achsenstrom, die direkt mit dem von dem Synchronmotor **1** erzeugten Drehmoment verbunden sind, direkt gesteuert werden; deshalb wurde ein Vorteil dargestellt, dass, sogar wenn eine Demagnetisierung des Permanentmagneten auftritt, während der Magnetfluss oder die Temperatur des Permanentmagneten abgeschätzt wird, das Drehmoment auf ein gewünschtes Drehmoment gesteuert werden kann.

**[0092]** Weiterhin wird der Permanentmagnet-Magnetfluss(Temperatur)basierend auf dem  $\gamma$ -Achsenstrom, ausgegeben für jeden einer Vielzahl von Steuerbefehlen, die bestehen aus Paaren des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls, und dann wird der Magnetzustands-Korrekturwert berechnet für jedes der Vielzahl von Paaren des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls, so dass der Flexibilitätsgrad beim Geben des Paares des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls erhöht wird, das heißt der Flexibilitätsgrad des Ausgangsdrehmoments zu einer Zeit, wenn der Abschätzbetrieb implementiert wird, wird erhöht.

#### Ausführungsform 2

**[0093]** Als Nächstes wird eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung erläutert. **Fig. 12** ist eine Systemkonfigurationsabbildung, die eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor **1** zeigt. Wie in **Fig. 12** gezeigt, wird in der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung ein Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10**, das ein Höherer-Hierarchiebefehls-Erzeugungssystem zum Erzeugen von Steuerbefehlen ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) basierend auf dem Drehmomentsbefehl  $\tau^*$  ist, zu der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung hinzugefügt. Obwohl nicht speziell dargestellt, kann anstelle des Positions-Erfassungsmittels **12** in **Fig. 12** das Positions-Erfassungsmittel **12a** in **Fig. 3** verwendet werden, wie in dem Fall der **Fig. 1**; wie in dem Fall der **Fig. 11**, kann zusätzlich erlaubt werden, dass die vorhergehende Korrelation zwischen der Permanentmagnettemperatur und dem Permanentmagnet-Magnetfluss verwendet wird und der Permanentmagnet-Temperaturschätzwert  $T_{mag}$  als die Ausgabe des Magnetzustands-Ausgabemittels **7** verwendet wird.

**[0094]** **Fig. 13** ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Beispiel der Konfiguration des Steuerbefehl-Berechnungsmittels **10** in **Fig. 12** zeigt.

**[0095]** In **Fig. 13** ist das Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** ausgestattet mit einer  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** und einer Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102**; um das Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** weiter zu optimieren, wird eine  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Begrenzungsvorrichtung **103** hinzugefügt, die den  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl  $i\gamma^*$  (angezeigt durch einen gestrichelten Linienpfeil in **Fig. 13**) verwendet, der berechnet wird durch die Magnetfluss-Steuervorrichtung **5**, um den  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  zu begrenzen. Basierend auf dem Drehmomentsbefehl  $\tau^*$  erzeugt die Steuerbefehl-Erzeugungsvorrichtung **10** den Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und den  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ . Im Fall des Synchronmotors **1** mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten ist es bekannt, dass zahllose Paare des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  und des  $\delta$ -Achsenstroms  $i\delta^*$  existieren, die das gleiche Drehmoment erzeugen; als Reaktion auf dem Drehmomentsbefehl  $\tau^*$  gibt die Steuerbefehl-Erzeugungsvorrichtung **10** den geeigneten Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  und  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  aus, die mit einem gewünschten Zustand (z. B. der maximalen Effizienz, dem maximalen Drehmoment oder dergleichen) übereinstimmen. Basierend auf dem Drehmomentsbefehl  $\tau^*$  und dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , die von der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** ausgegeben werden, berechnet die  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** den  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  durch die nachstehende Gleichung (11).

$$i\delta^* = \frac{\tau^*}{P_m \cdot \Phi^*} \quad (11)$$

wobei  $P_m$  die Anzahl von Polpaaren in dem Synchronmotor **1** ist. Die Magnetfluss-Steuervorrichtung **5** in **Fig. 12** führt die Steuerung auf solch eine Weise durch, dass die Magnetflussdifferenz  $\Delta\Phi$  Null wird; in der auf Gleichung (11) basierenden Berechnung kann deshalb der Betrag  $|\Phi|$  des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses  $\Phi$ , die von der mit dem Magnetfluss verbundenen Magnetfluss-Schätzvorrichtung **4** abgeschätzt wird, verwendet werden anstelle des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$ . Falls die  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Begrenzungsvorrichtung **103** hinzugefügt wird, wird der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  begrenzt basierend auf einem Strombegrenzungswert  $i_{max}$  und dem  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl  $i\gamma^*$  auf solch eine Weise, dass der elektrische Synthesstrom (Befehl) des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$  und des  $\gamma$ -Achsen-Strombefehls  $j\gamma^*$  begrenzt wird, um gleich oder kleiner als der Strombegrenzungswert  $i_{max}$  zu sein, der bestimmt wird basierend auf der Spezifikation des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2**. Der obere Grenzwert  $i\delta^*_{max}$  des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$  wird aus der nachstehenden Gleichung (12) erhalten; während  $i\delta^*_{max}$  sequentiell erhalten wird, wird der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  auf solch eine Weise begrenzt, dass der Absolutwert  $|i\delta^*|$  des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta^*$  gleich oder kleiner als  $i\delta^*_{max}$  wird.

$$i\delta^*_{max} = \sqrt{(i_{max})^2 - (i\gamma^*)^2} \quad \dots\dots(12)$$

**[0096]** Als Reaktion auf den eingegebenen  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ , gibt die Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** einen geeigneten Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  aus, zum Beispiel den Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , mit dem das maximale Drehmoment ausgegeben wird, in dem Zustand, dass der Ankerstrom (Effektivwert) des Synchronmotors konstant ist. In diesem Zustand wird der Synchronmotor **1** angetrieben, der Kupferverlust, der in der Leitungsverdrahtung zwischen der Ankerwicklung des Synchronmotors **1** und dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2** verursacht wird, wird kleiner, und der Leitungsverlust, der verursacht wird in dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2** wird auch kleiner; deshalb werden die Wandlungseffizienz des Synchronmotors **1** und des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** erhöht.

**[0097]** **Fig. 14** ist eine konzeptuelle Abbildung, die ein Beispiel des Zusammenhangs zwischen dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  und dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  darstellt, die die vorhergehende Bedingung erfüllen, mit der das Maximaldrehmoment ausgegeben wird; der Zusammenhang wird vorläufig gespeichert, als eine Gleichung oder Tabellendaten, in der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102**, und dann wird ein geeigneter Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  ausgegeben als Reaktion auf den eingegebenen  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ . Obwohl nicht dargestellt, gibt es als einem anderen geeigneten Namen +Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  einen Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , für den zusätzlich zu dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  die Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  des Synchronmotors **1** Bezug genommen wird und mit dem der Eisenverlust, enthaltend den Wirbelstromverlust und den Hystereseverlust in dem Synchronmotor, die von der Geschwindigkeit abhängen, für den  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  reduziert werden können. Wenn der Synchronmotor **1** unter diesen Bedingungen angetrieben wird, wird der in dem Synchronmotor **1** verursachte Eisenverlust reduziert, der relevant werden kann, wenn deren Rotationsgeschwindigkeit hoch ist; somit wird die Wandlungseffizienz des Synchronmotors **1** hauptsächlich in der Zone mit hoher Rotationsgeschwindigkeit erhöht.

**[0098]** Falls in dem in **Fig. 13** gezeigten Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** die  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Begrenzungsvorrichtung **103** hinzugefügt wird und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  durch die Gleichung (12) begrenzt wird, wird die Berechnung, die von der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** zu der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** durchgeführt wird, zirkulär. Das heißt, es wird eine Schleife aufgebaut "der Drehmomentbefehl  $\tau^*$  → (die  $\delta$ -Achsen-Strombefehls-Erzeugungsvorrichtung **101**, die  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Begrenzungsvorrichtung **103**) → der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$  → (der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102**) → der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  → (die  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101**) → der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta^*$ " ...; um den  $\delta$ -Achsenstrom  $i\delta^*$  und den Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  für den eingegebenen Drehmomentbefehl  $\tau^*$  zu bestimmen, ist es somit nötig, die Berechnung, die von der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** zu der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** durchgeführt wird, erneut auszuführen und zu konvergieren; deshalb wird es schwierig, die Berechnungsverarbeitung durchzuführen. Wenn dementsprechend die vorhergehende Verarbeitung in einer tatsächlichen Vorrichtung durch einen Mikrocomputer mit einem vorbestimmten Berechnungszyklus durchgeführt wird, kann es nötig sein, Maßnahmen zu ergreifen wie zum Beispiel eine Erhöhung der Stabilität der Berechnungsverarbeitung zum Beispiel auf solch eine Weise, dass als der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , der von der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** zu verwenden ist, die unmittelbar vorhergehende (ein Berechnungszyklus vorher) Berechnungsergebnis verwendet wird, und der gegenwärtige Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  berechnet wird basierend auf dem unter Verwendung des Befehls werts berechneten  $\delta$ -Achsen-Strombefehls  $i\delta$ , oder auf solch eine Weise, dass die Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** den Wert des Magnetflussbefehls  $\Phi^*$  durch einen geeigneten Filter ausgibt.

**[0099]** Anstelle des in **Fig. 13** gezeigten Steuerbefehl-Berechnungsmittels **10** kann in **Fig. 12** ein Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10a**, das später beschrieben wird, verwendet werden. **Fig. 15** ist eine Konfigurations-Abbildung, die ein anderes Konfigurationsbeispiel des Steuerbefehls-Berechnungsmittels in **Fig. 13** zeigt. In **Fig. 15** erzeugt das Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10a** den Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  basierend nicht auf dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl  $i\delta$ , sondern auf dem Drehmomentbefehl  $\tau^*$ . Eine Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102a** in **Fig. 15** gibt einen geeigneten Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  als Reaktion auf den angegebenen Drehmomentbefehl  $\tau^*$  aus. Durch Umwandeln der Abszisse der Abbildung in **Fig. 14** in den Drehmomentbefehl  $\tau^*$  durch Verwenden des Zusammenhangs in der nachstehenden Gleichung (13), kann der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  für den eingegebenen Drehmomentbefehl  $\tau^*$  erhalten werden.

$$\tau^* = P_m \cdot \Phi^* \cdot i\delta^* \quad (13)$$

**[0100]** **Fig. 16** ist eine konzeptuelle Abbildung zum Erläutern des Zusammenhangs zwischen dem Drehmomentbefehl  $\tau^*$  und dem Magnetflussbefehl  $\Phi^*$ , abgeleitet aus der Gleichung (13), basierend auf dem in **Fig. 14** dargestellten Zusammenhang; die Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** speichert den Zusammenhang vorläufig als eine Gleichung oder Tabellendaten und gibt dann einen geeigneten Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  in Übereinstimmung mit dem eingegebenen Drehmomentbefehl  $\tau^*$  aus. Die Betriebe der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101** und der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Begrenzungsvorrichtung **103** in dem Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10a** sind die gleichen wie diejenigen in dem Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10**. Um die Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** und **10a** zu optimieren, ist es weiterhin nur nötig, den Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  zu erzeugen, für den der Spannungsbegrenzungswert betrachtet wird, der von der Spezifikation des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** begrenzt wird.

**[0101]** In dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2** existiert ein möglicher Ausgabespannungs-Maximalwert  $V_{\max}$  (umgewandelt in einen Effektivwert), der abhängt von der Spezifikation des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** und der Ausgabespannung  $V_{pn}$  der Leistungsquelle **13**; es ist wünschenswert, dass der Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  auf solch eine Weise begrenzt wird, dass die in dem Anker des Synchronmotors **1** erzeugte Induktionsspannung unterdrückt wird auf den gleichen oder kleiner als  $V_{\max}$ . Die Induktionsspannung wird bestimmt durch das Multiplikationsprodukt der Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  des Synchronmotors **1** und des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses  $\Phi$ , wenn der Spannungsabfall über den Widerstand  $R$  des Synchronmotors **1** vernachlässigt wird; somit ist es geeigneter, dass basierend auf dem ausgebbaren Maximalspannungswert  $V_{\max}$  des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2** der Magnetfluss-Maximalwert  $\Phi_{\max}$  entsprechend der Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$  des Synchronmotors **1** sequentiell berechnet wird durch die nachstehende Gleichung (14) und der Wert, der erhalten wird, durch Begrenzen der Ausgabe der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** (**102a**) durch  $\Phi_{\max}$ , als Magnetflussbefehl  $\Phi^*$  angenommen wird.

$$\Phi_{\max} = \frac{V_{\max} - R \cdot i\delta^* - \Delta V}{\omega} \cong \frac{V_{\max} - \Delta V}{\omega} \quad \dots\dots(14)$$

$$V_{\max} = \frac{V_{pn}}{\sqrt{2}}$$

wobei  $\Delta V$  eine vorbestimmte Spanne ist.

**[0102]** Wie oben beschrieben, zeigt die Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung einen Vorteil darin, dass das Drehmoment genau gesteuert werden kann durch Durchführen der Steuerung basierend auf dem Drehmomentbefehl. Weiterhin wurde ein Vorteil gezeigt, dass der Ankerstrom des Synchronmotors **1**, der begrenzt wird durch die Leistungsfähigkeit des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2**, begrenzt werden kann auf gleich oder kleiner als der Begrenzungswert.

### Ausführungsform 3

**[0103]** Als Nächstes wird eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung erläutert. **Fig. 17** ist ein System-Konfigurationsdiagramm, das eine Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung zusammen mit einem Synchronmotor zeigt. Wie in **Fig. 17** oder der nachfolgend genannten **Fig. 18** gezeigt, ist die Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung, im Gegensatz zu der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2, auf solch eine Weise konfiguriert, dass ein Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10b** den Drehmomentbefehl  $\tau^*$  für den Synchronmotor **1** begrenzt in Übereinstimmung mit dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_{\text{mag}}$  oder der Temperatur  $T_{\text{mag}}$  und die Steuerbefehle ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) erzeugt, basierend auf dem be-

grenzten Drehmomentbefehl  $\tau_0^*$ . Obwohl nicht speziell dargestellt, kann das Positions-Erfassungsmittel **12a** in **Fig. 3** anstelle des Positions-Erfassungsmittels **12** in **Fig. 17** verwendet werden, wie im Fall der **Fig. 1**; zusätzlich, wie im Fall der **Fig. 11**, kann es erlaubt werden, dass die vorhergehende Korrelation zwischen der Permanentmagnettemperatur und dem Permanentmagnet-Magnetfluss verwendet wird und der Permanentmagnet-Temperatur-schätzwert  $T_{mag}$  verwendet wird als die Ausgabe des Magnetzustands-Ausgabemittels **7**.

**[0104]** **Fig. 18** ist eine Konfigurations-Abbildung, die ein Beispiel einer Konfiguration des Steuerbefehl-Berechnungsmittels **10a** in **Fig. 17** darstellt. In dem Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10b** in **Fig. 18**, zusätzlich zu der Konfiguration bestehend aus der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101**, der Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung **102** und der  $\delta$ -Achsen-Strombegrenzungsvorrichtung **103**, wird eine Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung **104** bereitgestellt, die den Drehmomentbefehl  $\tau^*$  begrenzt in Übereinstimmung mit dem Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_{mag}$  oder der Temperatur  $T_{mag}$ , die von dem Magnetzustands-Ausgabemittel **7** auszugeben sind, und dem (begrenzten) Drehmomentbefehl  $T_0^*$  ausgibt. **Fig. 18** zeigt eine Konfiguration, in der die Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung **104** zu dem Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** in **Fig. 13** hinzugefügt wird; es muss jedoch nicht gesagt werden, dass die Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung **104** zu dem in **Fig. 15** gezeigten Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10a** hinzugefügt werden kann.

**[0105]** Falls wie oben beschrieben ein Synchronmotor mit einem Permanentmagneten als Magnetfeldmagnet gesteuert wird durch eine Synchronmotor-Steuervorrichtung mit dem elektrischen Leistungswandlungsmittel **2**, wird ein Temperaturanstieg aufgrund einer Energiezuführung des Ankers des Synchronmotors oder dergleichen verursacht ein sogenanntes "Demagnetisierungs"-Phänomen, in dem die Intensität der Magnetisierung des Magnetfeld-Permanentmagneten, das heißt der Magnetfluss, reduziert wird; wenn weiterhin die erlaubte Temperatur überstiegen wird, wird ein sogenanntes "irreversibles Demagnetisierung"-Phänomen verursacht, in dem, sogar wenn die Temperatur auf die normale Temperatur fällt, der Magnetfluss nicht in den Zustand zu der Zeit zurückkehrt, bevor die Demagnetisierung verursacht wurde. Dementsprechend muss die Steuerung wenigstens auf solch eine Weise durchgeführt werden, dass die Temperatur des Permanentmagneten auf die gleiche oder eine niedrigere als die erlaubte Temperatur unterdrückt wird, bei der die irreversible Demagnetisierung auftritt. Wenn insbesondere das von dem Synchronmotor **1** erzeugte Drehmoment groß ist, ist es möglich, dass die Temperatur des Permanentmagneten sich erhöht.

**[0106]** Wie oben beschrieben, entspricht der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i_\gamma$  dem Magnetisierungsstrom zum Betreiben des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses  $\Phi$  des Synchronmotors **1**; wenn aufgrund eines Temperaturanstiegs eine Demagnetisierung (Verringerung des Magnetflusses entsprechend  $\Delta\Phi_{mag}$ ) des Permanentmagneten auftritt, kompensiert ein Anstieg des  $\gamma$ -Achsenstroms  $i_\gamma$  den Magnetfluss entsprechend der Demagnetisierung, wenn der Steuerbefehl konstant ist. Wenn sich der  $\gamma$ -Achsenstrom  $i_\gamma$  erhöht, wird dementsprechend der Ankerstrom (Effektivwert) des Synchronmotors **1** auch erhöht; aufgrund der Wärme (wie zum Beispiel der Wärme, die in dem Widerstand der Ankerwicklung erzeugt wird), die in dem Synchronmotor **1** produziert wird, erhöht sich auch die Temperatur des gesamten Synchronmotors **1**, der den Permanentmagneten enthält; somit wird eine Demagnetisierung des Permanentmagneten ermöglicht.

**[0107]** Falls die Temperatur des Synchronmotors **1** steigt, um die Temperatur davon abzuhalten, weiter zu steigen und den Ankerstrom des Synchronmotors **1** davon abzuhalten, den oberen Grenzwert zu übersteigen, wird dementsprechend der Temperaturanstieg des Permanentmagneten bestimmt basierend auf dem von dem Magnetzustands-Schätzmittel **7** ausgegebenen Permanentmagnet-Magnetfluss  $\Phi_{mag}$  oder der Temperatur  $T_{mag}$  und der Drehmomentbefehl  $\tau^*$  wird in Übereinstimmung mit  $\Phi_{mag}$  (oder  $T_{mag}$ ) begrenzt, so dass die Größe (Absolutwerte) der Steuerbefehle ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) indirekt verringert werden und somit der Ankerstrom (Effektivwert) davon abgehalten wird, anzusteigen.

**[0108]** Die Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung **104** begrenzt den Drehmomentbefehl  $\tau^*$  in Übereinstimmung mit dem vorhergehenden  $\Phi_{mag}$  (oder  $T_{mag}$ ) und gibt den (begrenzten) Drehmomentbefehl  $T_0^*$  aus. Die Korrelation zwischen dem vorhergehenden  $\Phi_{mag}$  (oder  $T_{mag}$ ) und der Drehmomentbefehl  $\tau^*$  wird eingestellt in Übereinstimmung mit der Antriebsbedingung, der Wärmekapazität des Synchronmotors **1** oder der Abkühlungsleistungsfähigkeit, und der Leistungsfähigkeit des elektrischen Leistungswandlungsmittels **2**. Wenn zum Beispiel mit den vorbestimmten Steuerbefehlen ( $\Phi^*$ ,  $i\delta^*$ ) das vorhergehende  $\Phi_{mag}$  gleich oder kleiner als ein gegebener Wert wird oder das vorhergehende  $T_{mag}$  einen vorbestimmten Wert übersteigt, wird bestimmt, dass die Permanentmagnettemperatur sich einer Temperatur nähert, die zu einer irreversiblen Demagnetisierung führt, und dann wird der Drehmomentbefehl  $\tau^*$  begrenzt, um sich zu verringern; extrem ausgedrückt, wird zum Beispiel eine Verarbeitung zum Verringern des Drehmomentbefehls auf "0" implementiert und der (begrenzte) Drehmomentbefehl  $T_0^*$  wird ausgegeben.

**[0109]** Mit Ausnahme der Hinzufügung der Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung **104** ist das Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10b** das gleiche wie das Steuerbefehl-Berechnungsmittel **10** (oder **10a**) in der Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 2 der vorliegenden Erfindung; weil bei der Eingabe der  $\delta$ -Achsen-Strombefehl-Erzeugungsvorrichtung **101a** in **Fig. 18**, der Drehmomentbefehl  $\tau^*$  jedoch durch den (begrenzten) Drehmomentbefehl  $T0^*$  ersetzt wird, wird die Berechnung durch die Gleichung (11) durch Verwenden von  $T0^*$  anstelle von  $\tau^*$  durchgeführt.

**[0110]** Wie oben beschrieben, begrenzt die Synchronmotor-Steuervorrichtung gemäß Ausführungsform 3 der vorliegenden Erfindung den Drehmomentbefehl, wenn die Temperatur des Permanentmagneten ansteigt, und begrenzt somit den Anstieg des Ankerstroms (Effektivwert), um die Temperatur davon abzuhalten, weiter zu steigen; somit wurde ein Vorteil dargestellt, dass eine irreversible Demagnetisierung verhindert werden kann.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit

**[0111]** Die vorliegende Erfindung ist eine Synchronmotor-Steuervorrichtung, die einen Synchronmotor mit einem Magnetfeld-Permanentmagneten steuert, durch Verwenden eines elektrischen Leistungswandlungsmittels, wie zum Beispiel einen Inverter; die Synchronmotor-Steuervorrichtung kann die Temperatur oder den Magnetflusswert eines Permanentmagneten genau Abschätzen, ohne eine Temperatur-Erfassungsvorrichtung an den Permanentmagneten anzubringen.

#### Bezugszeichenliste

|                      |                                                         |
|----------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>1</b>             | Synchronmotor                                           |
| <b>2</b>             | Elektrisches Leistungswandlungsmittel                   |
| <b>3</b>             | Stromerfassungsmittel                                   |
| <b>4, 4a</b>         | mit Ankerstrom verbundene Magnetfluss-Schätzvorrichtung |
| <b>5</b>             | Magnetfluss-Steuervorrichtung                           |
| <b>6</b>             | Stromsteuervorrichtung                                  |
| <b>7, 7a</b>         | Magnetzustands-Ausgabemittel                            |
| <b>8</b>             | Magnetzustands-Schätzvorrichtung                        |
| <b>9</b>             | Magnetzustands-Korrekturmittel                          |
| <b>10, 10a, 10b</b>  | Steuerbefehl-Berechnungsmittel                          |
| <b>11a, 11b</b>      | Koordinaten-Transmator                                  |
| <b>12, 12a</b>       | Positions-Erfassungsmittel                              |
| <b>13</b>            | Leistungsquelle                                         |
| <b>21a bis 21c</b>   | Addierer-Subtrahierer                                   |
| <b>22a, 22b</b>      | Schalter                                                |
| <b>23a, 23b</b>      | PI-Steuerung                                            |
| <b>81a, 81b, 81c</b> | Magnetzustands-Referenzmittel <b>81</b>                 |
| <b>101, 101a</b>     | $\delta$ -Achsen-Strombefehls-Erzeugungsvorrichtung     |
| <b>102, 102A</b>     | Magnetflussbefehls-Erzeugungsvorrichtung                |
| <b>103</b>           | $\delta$ -Achsen-Strombefehls-Begrenzungsvorrichtung    |
| <b>104</b>           | Drehmomentbefehls-Begrenzungsvorrichtung                |

#### Patentansprüche

1. Synchronmotor-Steuervorrichtung, umfassend:  
 ein elektrisches Leistungs-Wandlungsmittel, das eine Spannung an einen Synchronmotor mit einem Permanentmagneten zum Bilden eines Magnetfeldes ausgibt, basierend auf einem Spannungsbefehl;  
 ein Stromerfassungsmittel, das einen Ankerstrom des Synchronmotors erfasst;  
 eine mit dem Anker verbundene Magnetfluss-Abschätzvorrichtung, die basierend auf dem Spannungsbefehl, die Größe des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses des Synchronmotors und einer  $\gamma$ -Achse, entlang der der mit dem Anker verbundene Magnetfluss produziert wird, abschätzt und die den Ankerstrom in einen Strom auf einer  $\gamma$ - $\delta$ -Achse, bestehend aus der  $\gamma$ -Achse und einer  $\delta$ -Achse, die senkrecht zu der  $\gamma$ -Achse ist, basierend auf einer Rotorposition des Synchronmotors und der abgeschätzten  $\gamma$ -Achse Koordinaten-transformiert;  
 eine Magnetfluss-Steuervorrichtung, die einen  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl erzeugt zum Steuern eines  $\gamma$ -Achsen-Stroms auf einen vorbestimmten Wert basierend auf einem Magnetflussbefehl und der Größe des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses;

eine Stromsteuervorrichtung, die den Spannungsbefehl erzeugt, basierend auf einem  $\gamma$ - $\delta$ -Achsen-Strombefehl, der durch Addieren eines  $\delta$ -Achsen-Strombefehls zu dem  $\gamma$ -Achsen-Strombefehl erhalten wird, und dem  $\gamma$ - $\delta$ -Achsen-Strom; und

ein Magnetzustands-Ausgabemittel, das einen Magnetfluss oder eine Temperatur des Permanentmagneten abschätzt und ausgibt,

wobei das Magnetzustands-Ausgabemittel ausgestattet ist mit einer Magnetzustands-Schätzvorrichtung zum Abschätzen eines Magnetflusses oder einer Temperatur des Permanentmagneten basierend auf dem  $\gamma$ -Achsen-Strom, dem  $\delta$ -Achsen-Strombefehl und dem Magnetflussbefehl, und das Magnetzustands-Ausgabemittel einen Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus und einen Magnetzustands-Schätzmodus aufweist; wobei in dem Magnetzustands-Korrekturwert-Berechnungsmodus das Magnetzustands-Ausgabemittel der Magnetzustands-Schätzvorrichtung Null als jeden der Strombefehle auf den jeweiligen Achsen auf der  $\gamma$ - $\delta$ -Achse gibt und einen Magnetzustands-Korrekturwert berechnet, basierend auf der Größe des mit dem Anker verbundenen Magnetflusses, abgeschätzt unter der Bedingung der Strombefehle und einem Magnetfluss-Schätzwert oder einem Temperatur-Schätzwert des Permanentmagneten, erhalten durch die Magnetzustands-Schätzvorrichtung unter der Bedingung, dass ein vorbestimmter Magnetflussbefehl und ein  $\delta$ -Achsen-Strombefehl an die Magnetzustands-Schätzvorrichtung gegeben werden, und

wobei in dem Magnetzustands-Schätzmodus das Magnetzustands-Ausgabemittel ausgestattet ist mit einem Magnetzustands-Korrekturmittel, das, durch den Magnetzustands-Korrekturwert, den Magnetfluss-Schätzwert oder den Temperaturschätzwert des Permanentmagneten, die erhalten werden von der Magnetzustands-Schätzvorrichtung unter der Bedingung, dass der vorbestimmte Magnetflussbefehl und  $\delta$ -Achsen-Strombefehl gegeben werden, korrigiert.

## 2. Synchronmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 1,

wobei in dem Magnetzustands-Korrektur-Berechnungsmodus das Magnetzustands-Ausgabemittel einen Magnetzustands-Korrekturwert für jedes einer Vielzahl von vorbestimmten Paaren des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls berechnet, basierend auf einem Magnetfluss-Schätzwert oder einem Temperatur-Schätzwert des Permanentmagneten, erhalten von der Magnetzustands-Schätzvorrichtung, und

wobei in dem Magnetzustands-Schätzmodus, das Magnetzustands-Ausgabemittel ausgestattet ist mit einem Magnetzustands-Korrekturmittel, das ein Paar von Befehlen in der Vielzahl von vorbestimmten Paaren des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls auswählt und dann einen Magnetfluss-Schätzwert oder einen Temperatur-Schätzwert des Permanentmagneten korrigiert, erhalten von der Magnetzustands-Schätzvorrichtung unter der Bedingung, dass das Paar von Befehlen an die Magnetzustands-Schätzvorrichtung gegeben werden, durch den Magnetzustands-Korrekturwert, das ein Paar mit dem ausgewählten Paar des Magnetflussbefehls und des  $\delta$ -Achsen-Strombefehls bildet.

## 3. Synchronmotor-Steuervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 und 2, weiterhin enthaltend ein Steuerbefehl-Berechnungsmittel, das den Magnetflussbefehl und den $\delta$ -Achsen-Strombefehl basierend auf einem Drehmomentsbefehl für den Synchronmotor erzeugt.

## 4. Synchronmotor-Steuervorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Steuerbefehl-Berechnungsmittel den Drehmomentsbefehl für den Synchronmotor begrenzt in Übereinstimmung mit einem Magnetfluss-Schätzwert oder einem Temperatur-Schätzwert des Permanentmagneten, ausgegeben von dem Magnetzustands-Ausgabemittel, und den Magnetflussbefehl und den $\delta$ -Achsen-Strombefehl als Reaktion auf den begrenzten Drehmomentsbefehl ausgibt.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen



FIG.2

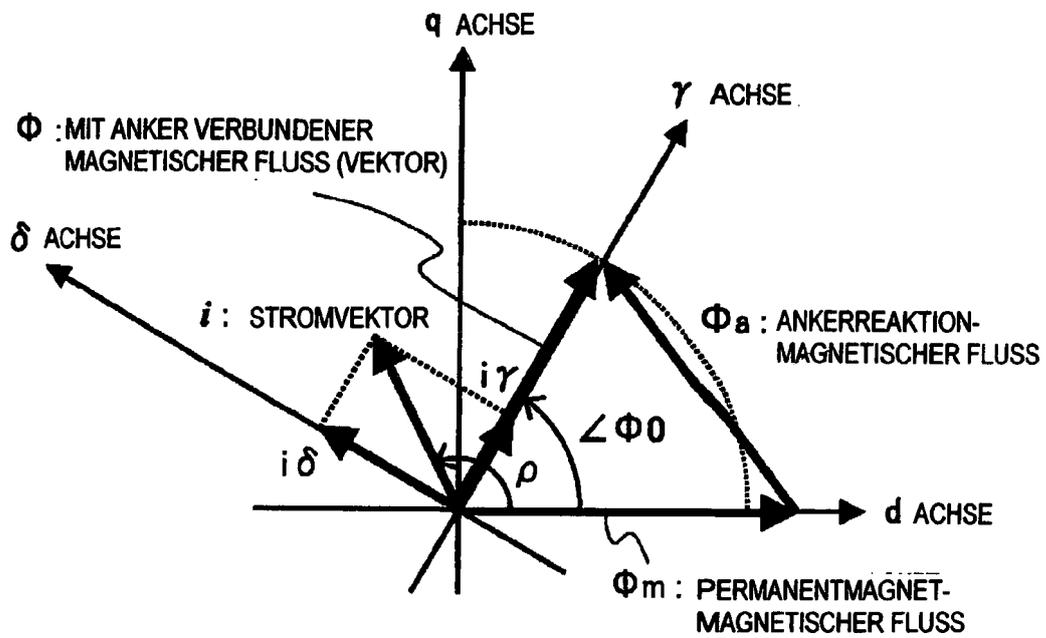


FIG. 3

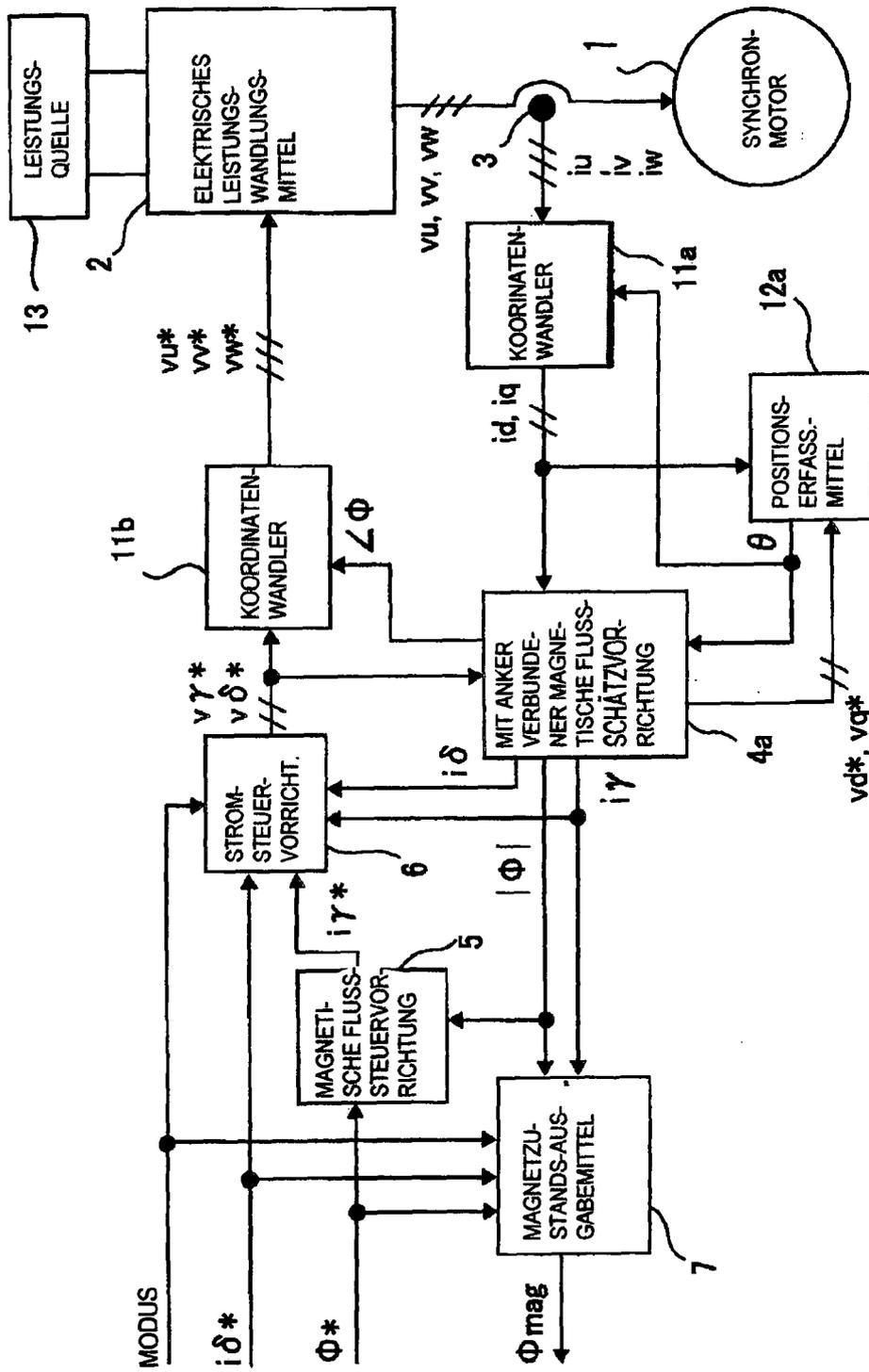


FIG. 4

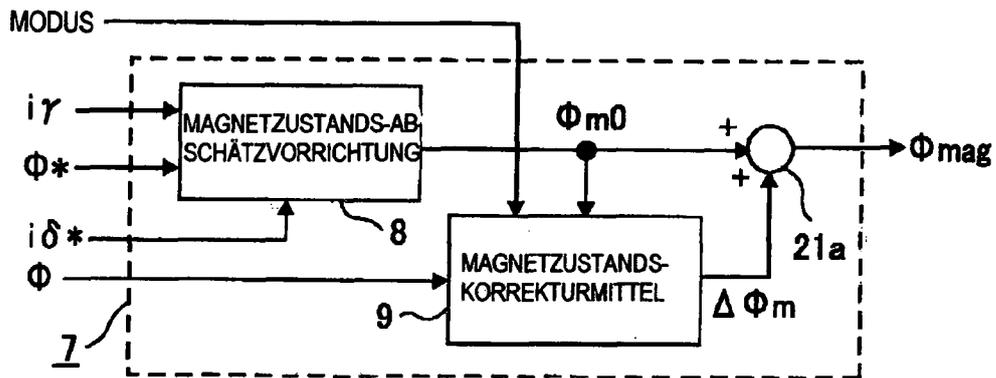
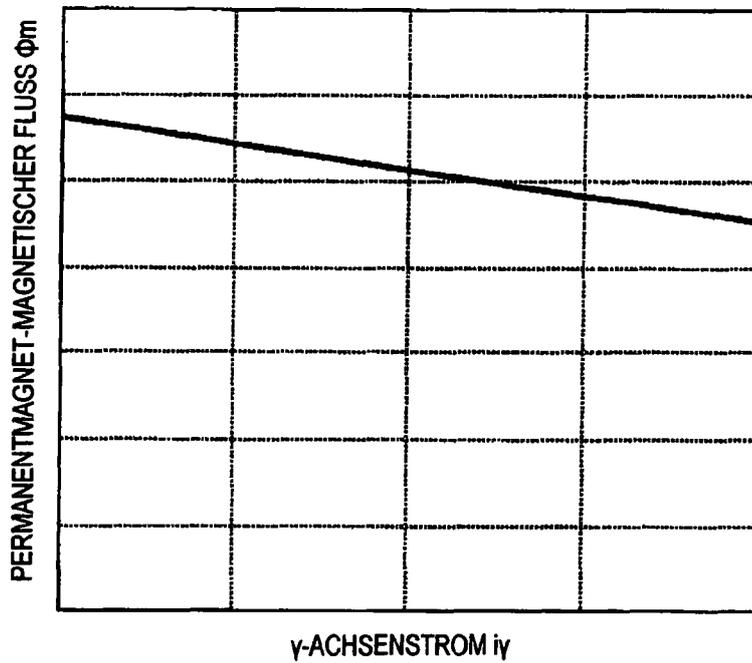


FIG. 5



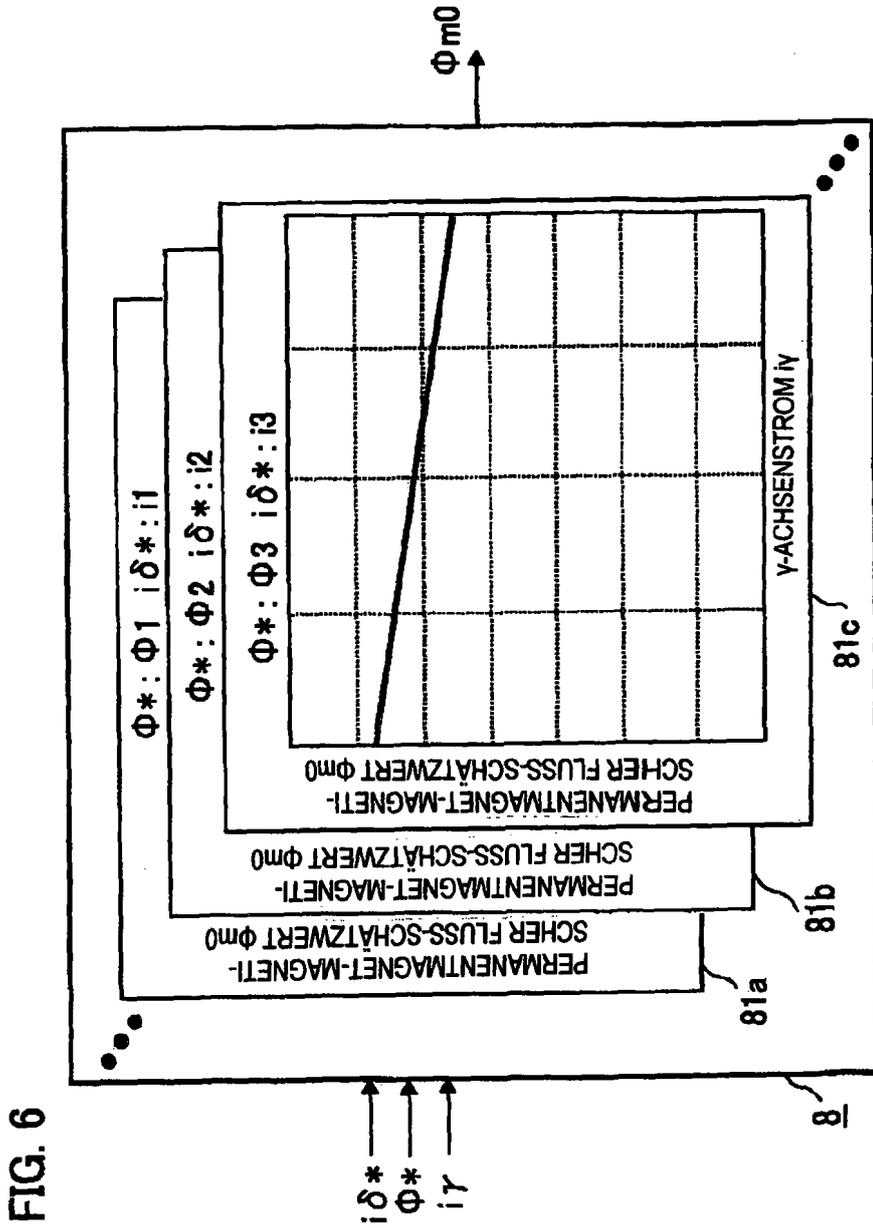


FIG. 7

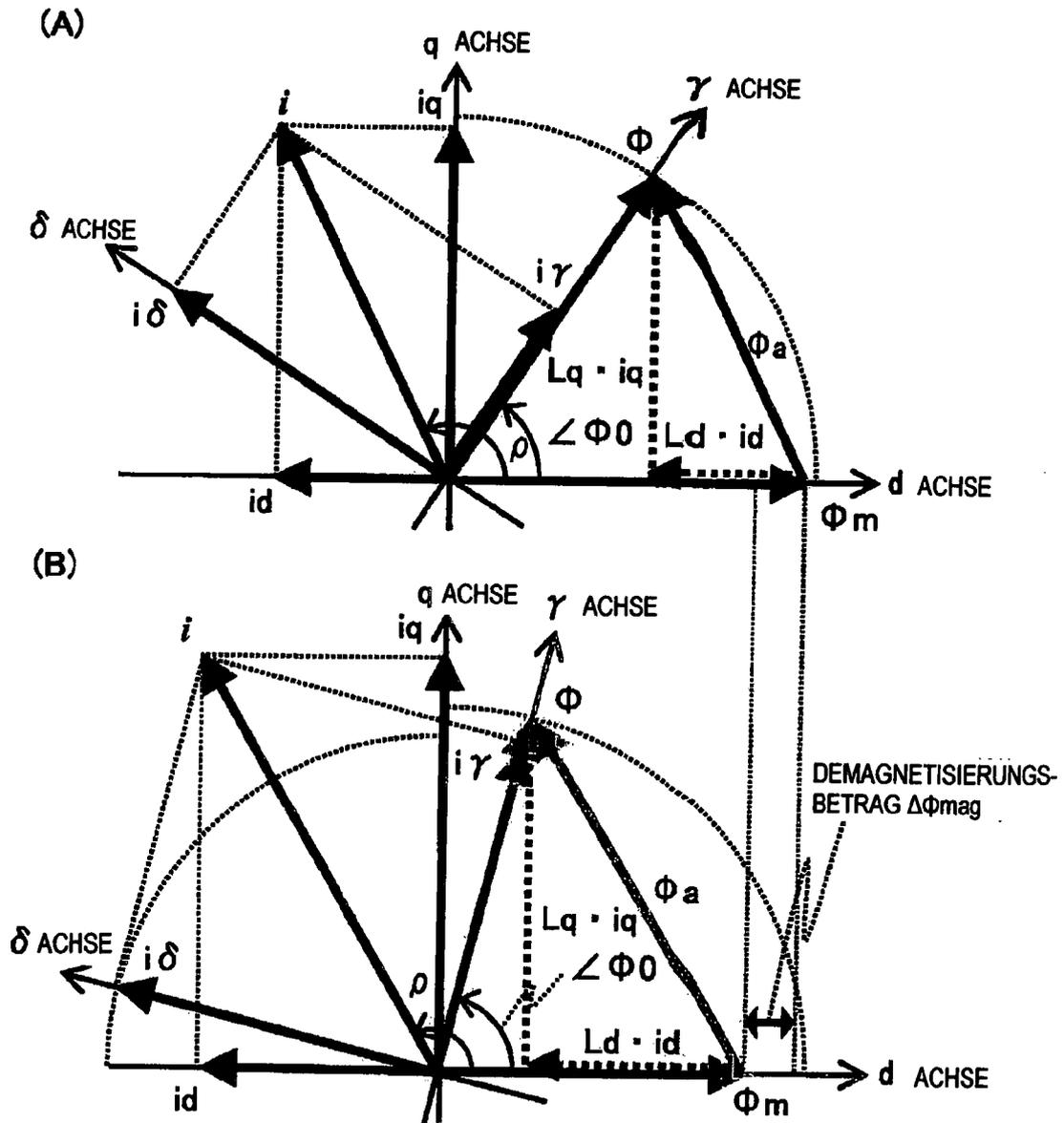


FIG. 8

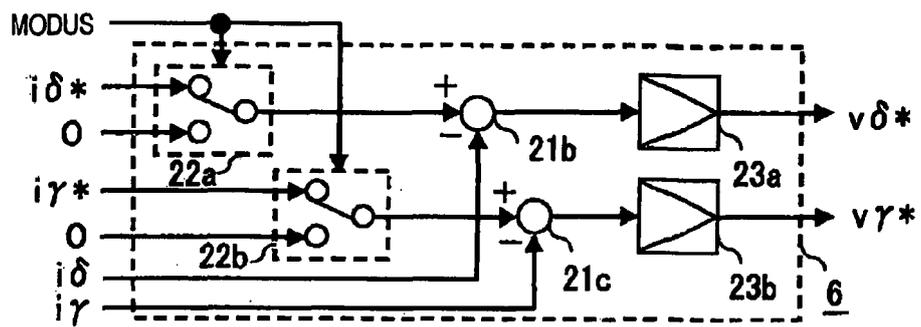


FIG. 9

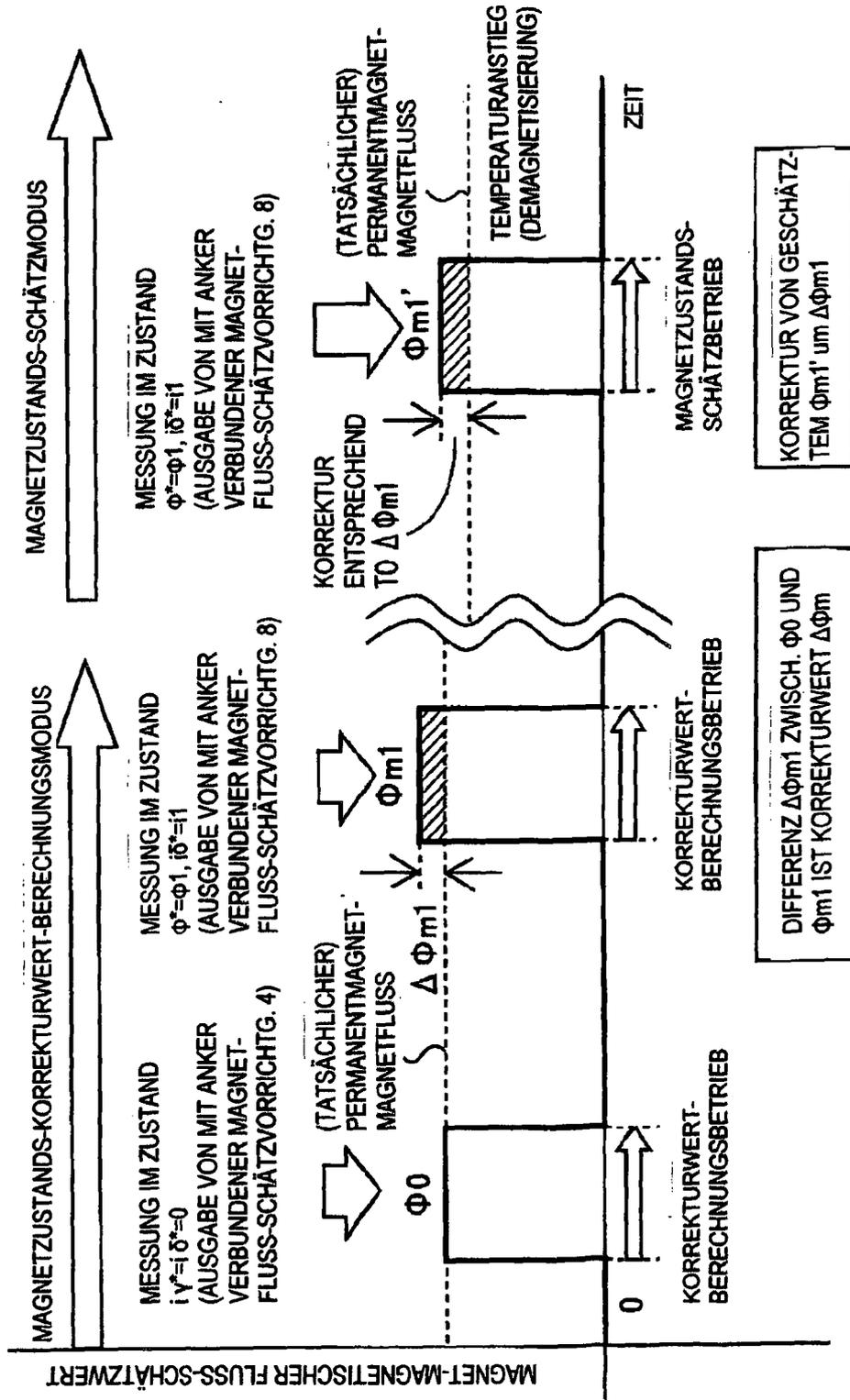


FIG. 10

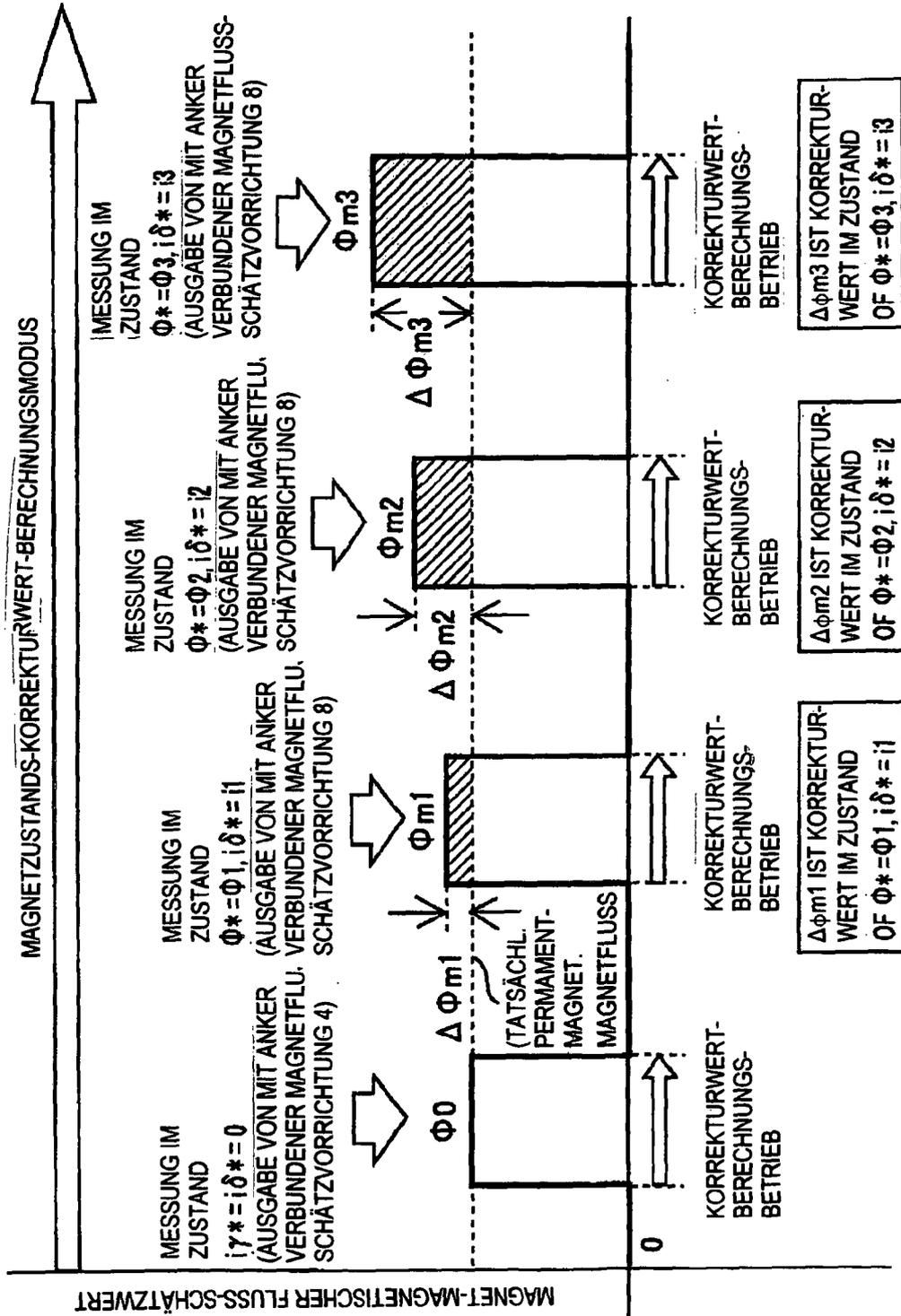


FIG. 11

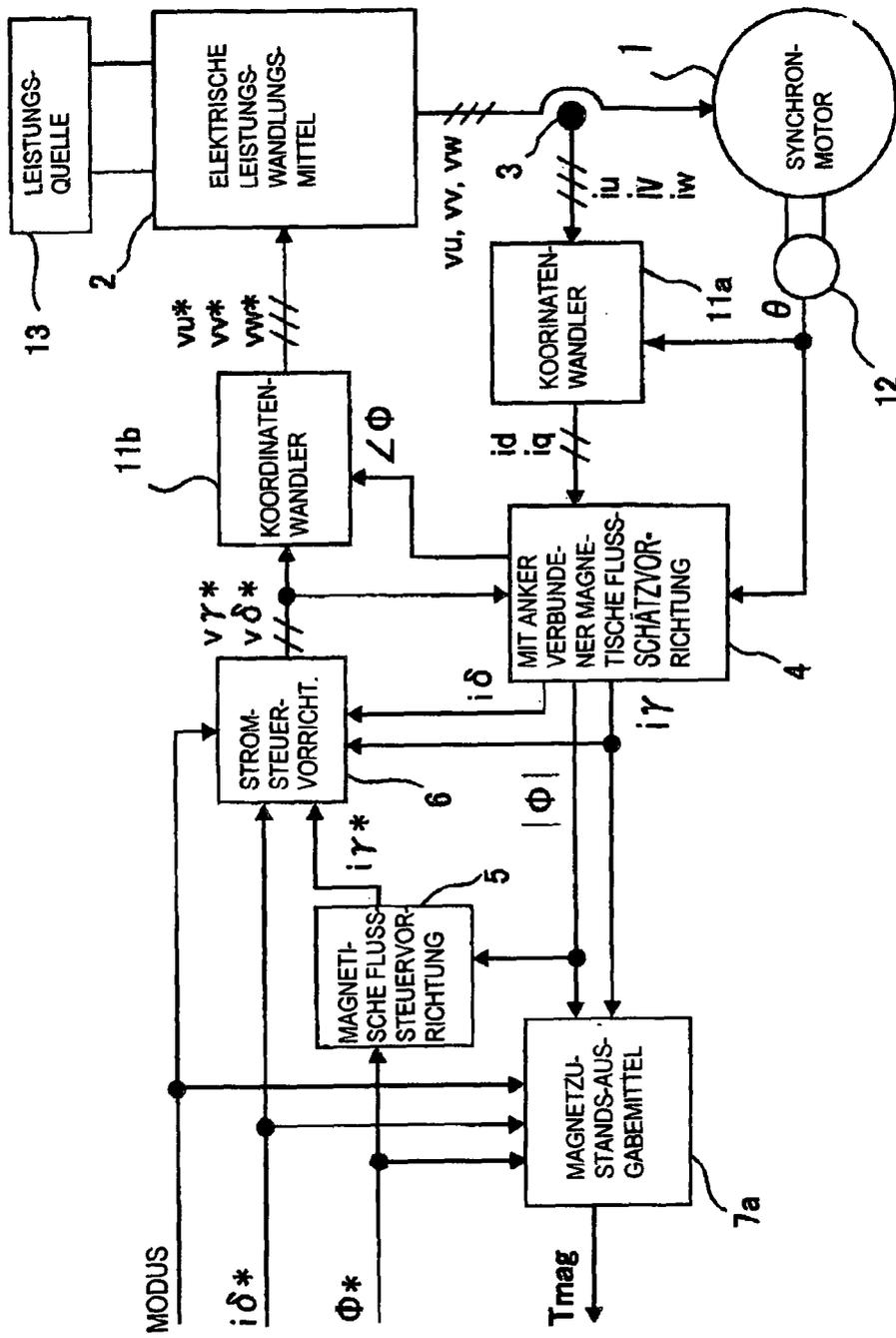




FIG. 13

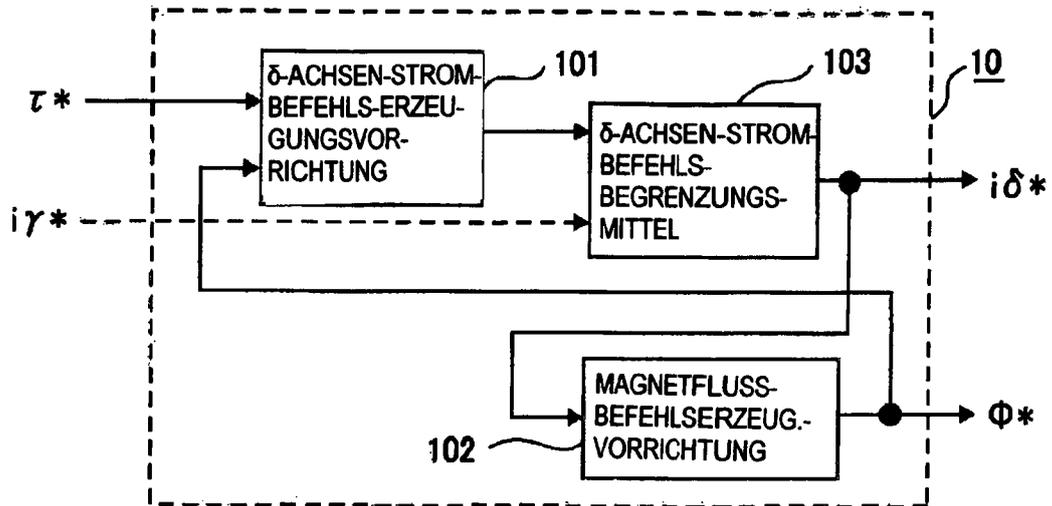


FIG. 14

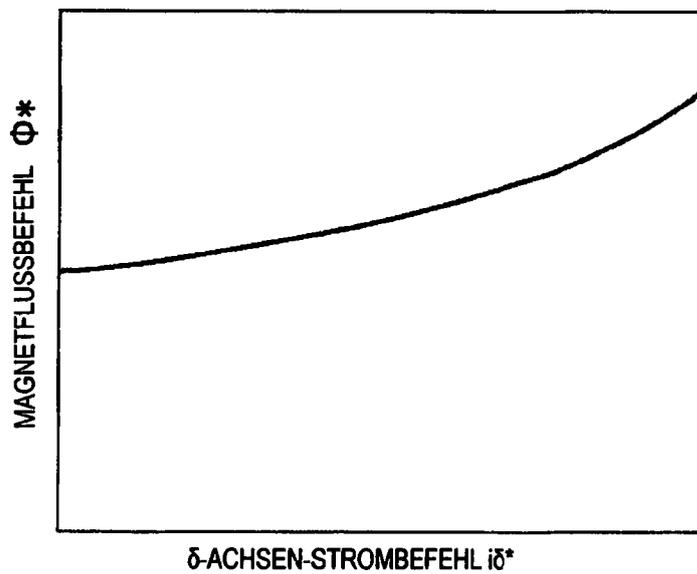


FIG. 15

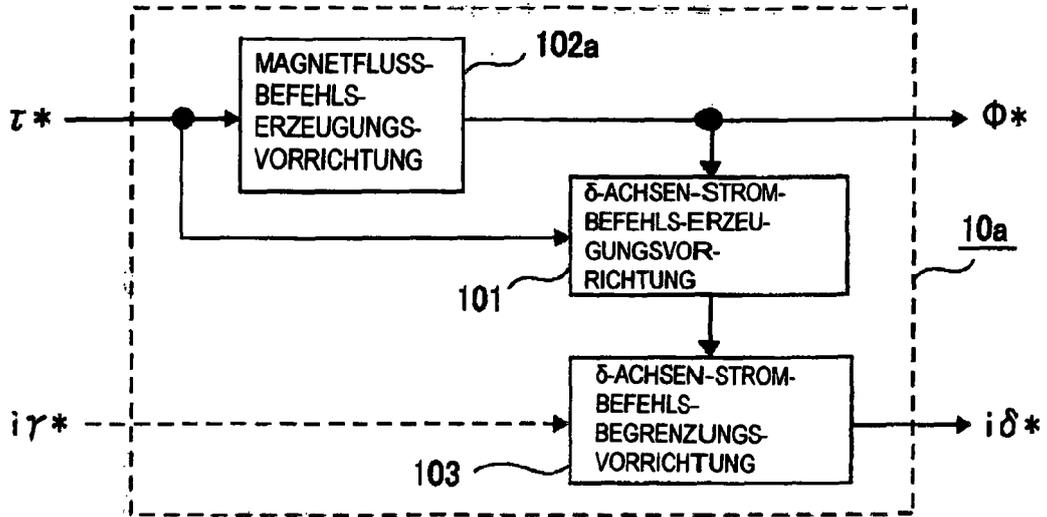


FIG.16

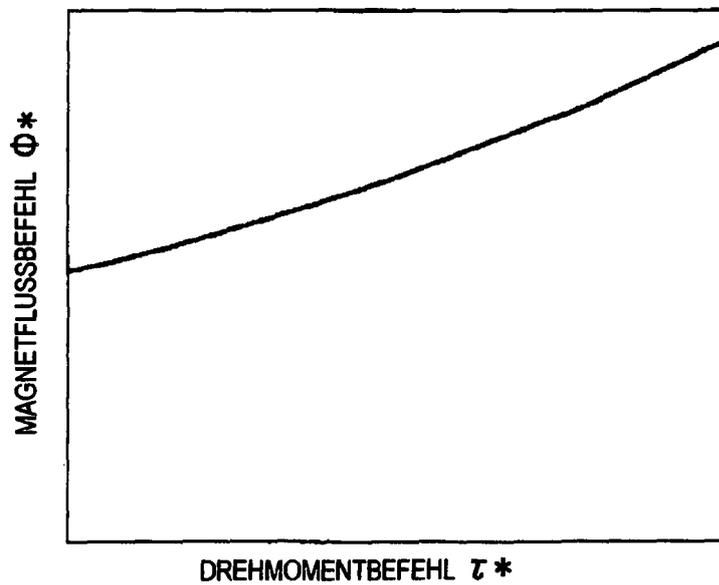


FIG. 17

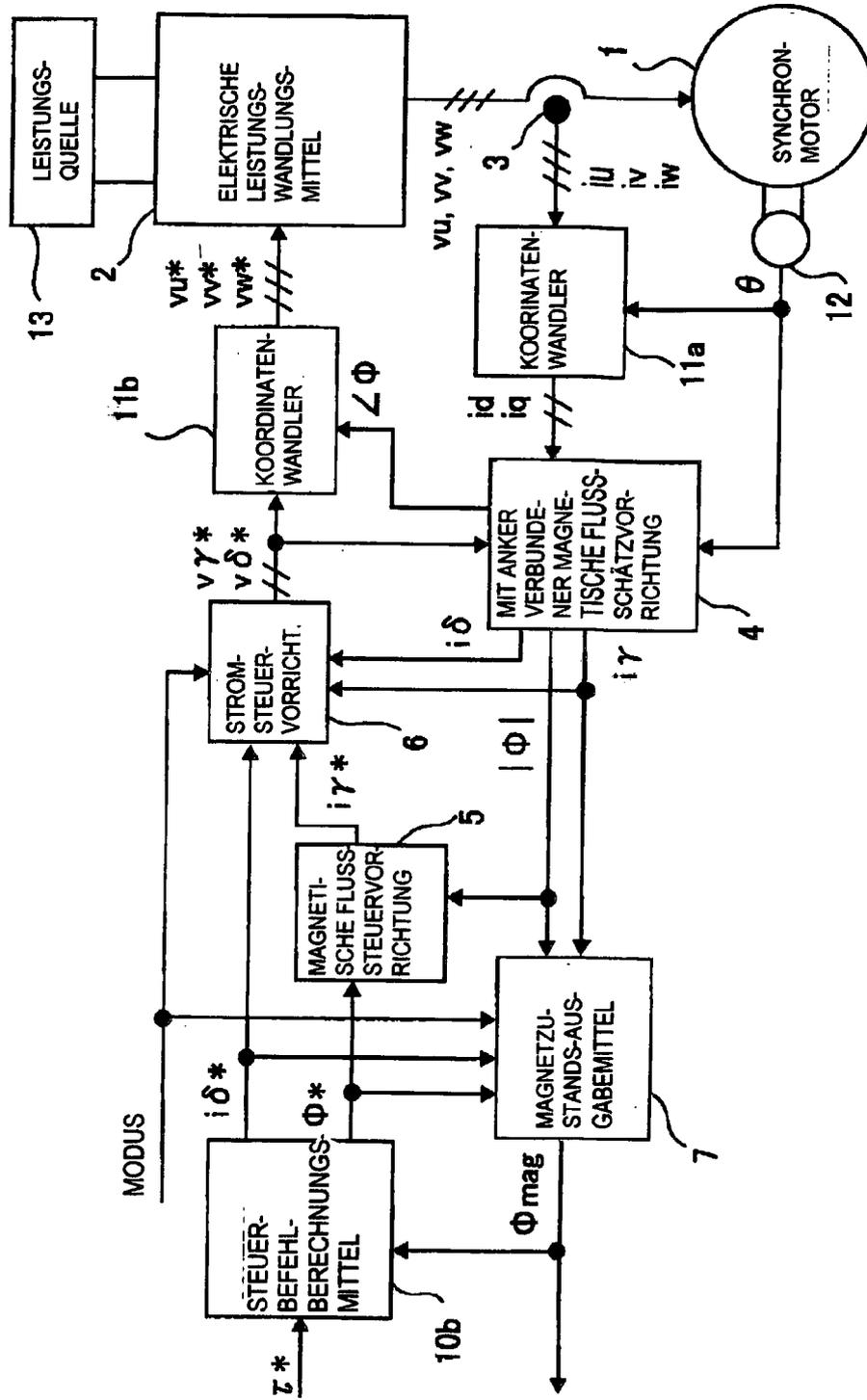


FIG. 18

