



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2019/138691**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 006 843.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2018/042568**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.11.2018**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **18.07.2019**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **01.10.2020**

(51) Int Cl.: **H02P 21/18 (2016.01)**
H02P 21/13 (2006.01)
H02P 25/089 (2016.01)

(30) Unionspriorität:
2018-003786 **12.01.2018** **JP**

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

(74) Vertreter:
**WITTE, WELLER & PARTNER Patentanwälte mbB,
70173 Stuttgart, DE**

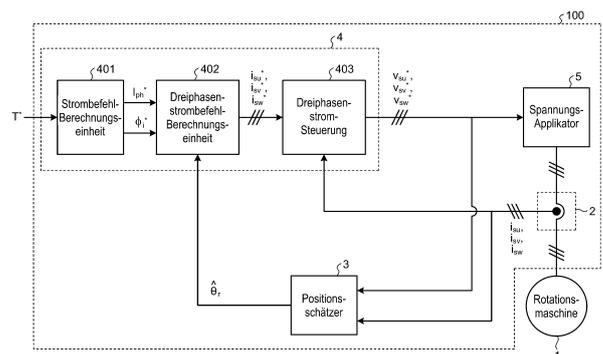
(72) Erfinder:
**Kojima, Tetsuya, Tokyo, JP; Yamasaki, Hisanori,
Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **ROTATIONSMASCHINEN-STEUERVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Eine Rotationsmaschinen-Steuer-
vorrichtung (100) umfasst einem Stromdetektor (2) zum
Erfassen eines durch eine Rotationsmaschine (1) fließen-
den Rotationsmaschinen-Ströme, einem Positionsschätzer
(3) zum Schätzen einer Rotorposition, einer Steuerung (4)
zum Ausgeben eines Rotationsmaschinen-Spannungsbe-
fehls zum Antreiben der Rotationsmaschine (1) auf Basis
des Rotationsmaschinen-Stroms und der Rotorposition, und
einem Spannungs-Applikator (5) zum Anlegen einer Span-
nung an die Rotationsmaschine (1) auf Basis des Rota-
tionsmaschinen-Spannungsfehls. Der Positionsschätzer
(3) schätzt die Rotorposition aus einer variablen Fluss-
verkettungs-Induktivitäts-Komponente, die durch eine varia-
ble Induktivitäts-Komponente und den Rotationsmaschinen-
Strom erzeugt wird.



Beschreibung

BEREICH

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Steuerungsvorrichtung für eine Rotationsmaschine (im Folgenden als „Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung“ bezeichnet), die eine Rotationsmaschine, deren Induktivität eine dynamische Komponente der Induktivität (im Folgenden als „variable Induktivitäts-Komponente“ bezeichnet) umfasst, die sich mit der Rotorposition ändert, steuert, indem Rotorpositions-Informationen ohne Verwendung eines Positionssensors zum Detektieren der Rotorposition erlangt werden.

HINTERGRUND

[0002] Um eine Rotationsmaschine so anzutreiben, dass sie mit voller Leistung der Rotationsmaschine arbeitet, sind Rotorpositions-Informationen erforderlich. Zu diesem Zweck verwendet eine herkömmliche Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung Positionsinformationen, die von einem an der Rotationsmaschine angebrachten Positionssensor detektiert werden. Im Hinblick auf eine weitere Senkung der Herstellungskosten von Rotationsmaschinen, einer Größenreduktion von Rotationsmaschinen, einer höheren Zuverlässigkeit von Rotationsmaschinen und dergleichen wurde jedoch eine Technologie zum Antreiben einer Rotationsmaschine in einer positionssensorlosen Ausführung entwickelt. Positionssensorlose Steuerungsverfahren für eine Rotationsmaschine umfassen ein Verfahren zum Schätzen der Rotorposition durch Anlegen einer Hochfrequenzspannung an die Rotationsmaschine und ein Verfahren zum Schätzen der Rotorposition auf Basis der induzierten Spannung, Flussverkettung oder dergleichen der Rotationsmaschine, ohne Anlegen einer Hochfrequenzspannung.

[0003] Patentliteratur 1 offenbart ein Verfahren zum Schätzen der Rotorposition durch Anlegen einer Hochfrequenzspannung an die Rotationsmaschine. Das in Patentliteratur 1 offenbarte positionssensorlose Steuerungsverfahren umfasst das Detektieren eines Rotationsmaschinen-Stroms, wenn eine Hochfrequenzspannung an eine Rotationsmaschine angelegt wird, und das Extrahieren eines Hochfrequenzstroms, der die gleiche Frequenzkomponente wie die Frequenzkomponente der Hochfrequenzspannung hat. Dann wird die Rotorposition unter Verwendung der Eigenschaft, dass sich die Induktivität der Rotationsmaschine, d.h. die Amplitude des Hochfrequenzstroms, mit einer Frequenz ändert, die doppelt so groß wie die Frequenz des Rotorpositions-Elektrischen-Winkels ist, geschätzt. Ein solches Verfahren, das eine Hochfrequenzspannung verwendet, liefert selbst bei Geschwindigkeit Null oder bei einer niedrigen Geschwindigkeit nahe Geschwindigkeit Null der Rotationsmaschine eine genaue Schätzung der Rotorposition, wobei auf der anderen Seite die überlagerte Hochfrequenzspannung Drehmomentpulsation oder Rauschen erzeugt. Zudem verringert bei dem Verfahren, das eine Hochfrequenzspannung verwendet, eine Überlagerung der Hochfrequenzspannung mit der an die Wicklung der Rotationsmaschine angelegten Spannung und dem durch die Wicklung der Rotationsmaschine fließenden Strom entsprechend entweder das maximale Drehmoment der Rotationsmaschine oder die Drehzahl der Rotationsmaschine, oder verringert beides.

[0004] Patentliteraturen 2, 3, und 4 offenbaren jeweils ein Verfahren zum Schätzen der Rotorposition ohne Anlegen einer Hochfrequenzspannung. Die Verfahren zum Schätzen der Rotorposition ohne Anlegen einer Hochfrequenzspannung umfassen jeweils eine Subtraktion des Produkts des Induktivitätswerts entlang einer q-Achse oder d-Achse des Rotors und des Rotationsmaschinen-Stroms von der Flussverkettung der Rotationsmaschine, um dadurch Komponenten, die sich synchron mit der Rotorposition drehen, aus der Flussverkettung zu extrahieren. Diese Komponenten umfassen jeweils einen aktiven Fluss in Bezug auf die d-Achse und einen aktiven Fluss in Bezug auf die q-Achse. Wie hier verwendet, ist die Richtung des Rotors, die die Induktivität maximiert, als d-Achse definiert, während die Richtung des Rotors, die die Induktivität minimiert, als q-Achse definiert ist. Die d-Achse ist eine Achse, die als Magnetflussachse bezeichnet wird, und die q-Achse ist eine Achse, die als Drehmoment-Achse bezeichnet wird. In Patentliteratur 2 wird der aktive Fluss von einem Beobachter geschätzt, um die Rotorposition abzuschätzen. In Patentliteratur 3 wird eine durch den aktiven Fluss erzeugte induzierte Spannung verwendet, um die Rotorposition abzuschätzen.

[0005] Die in Patentliteratur 2 und 3 offenbarten positionssensorlosen Steuerungsverfahren führen dazu, dass der aktive Fluss einen Wert Null hat, wenn der Rotationsmaschinen-Strom keine d-Achsen-Komponente oder keine q-Achsen-Komponente hat, und können daher die Rotorposition nicht abschätzen. Das heißt, dass die in Patentliteraturen 2 und 3 offenbarten positionssensorlosen Steuerungsverfahren die Rotorposition in Abhängigkeit von der Stromflussrichtung der Rotationsmaschine nicht abschätzen können. Das in Patentliteratur 4 offenbarte positionssensorlose Steuerungsverfahren löst dieses Problem durch Gewichten sowohl der aktiven Flüsse in Bezug auf die d-Achse als auch in Bezug auf die q-Achse auf der Basis der d-Achsen-Komponente

und der q-Achsen-Komponente des Rotationsmaschinen-Stroms oder der Flussverkettung und Verwenden des Ergebnisses bei der Schätzung der Rotorposition.

Zitatsliste

Patentliteratur

[0006] P

Patentliteratur 1: Japanisches Patent Nr. 5069306

Patentliteratur 2: Japanisches Patent Nr. 4644010

Patentliteratur 3: Japanisches Patent Nr. 3571698

Patentliteratur 4: Europäische Patentanmeldung Offenlegungs-Nr. 2493067

Kurzfassung

Technisches Problem

[0007] Die in Patentliteratur 4 offenbarte Gewichtung-Operation auf der Basis der d-Achsen-Komponente und der q-Achsen-Komponente des Rotationsmaschinen-Stroms oder der Flussverkettung hat jedoch ein Problem der Komplexität des Steuerungsdesigns und der Steuerungsverarbeitung sowie der Rotorpositions-Schätzung. Daher hat die in Patentliteratur 4 offenbarte Technologie ein Problem der Ausführung zum Schätzen der Rotorposition.

[0008] Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf das Vorstehende gemacht und es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung bereitzustellen, die in Lage ist, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung der Rotationsmaschine mit einer einfacheren Ausführung abzuschätzen.

Lösung des Problems

[0009] Um das Problem zu lösen und das oben beschriebene Ziel zu erreichen, ist eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung zum Steuern einer Rotationsmaschine, deren Induktivität eine variable Induktivitäts-Komponente umfasst, die sich mit einer Rotorposition ändert. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung umfasst einen Stromdetektor zum Erfassen eines durch die Rotationsmaschine fließenden Rotationsmaschinen-Stroms. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung umfasst: einen Positionsschätzer zum Schätzen der Rotorposition; eine Steuerung zum Ausgeben eines Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls zum Antreiben der Rotationsmaschine auf Basis des Rotationsmaschinen-Stroms und der Rotorposition; und einen Spannungs-Applikator zum Anlegen einer Spannung an die Rotationsmaschine auf Basis des Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls. Der Positionsschätzer schätzt die Rotorposition aus einer variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, die durch die variable Induktivitäts-Komponente und den Rotationsmaschinen-Strom erzeugt wird.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0010] Die vorliegende Erfindung bietet einen Vorteil darin, dass sie mit einer einfacheren Ausführung in der Lage ist, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung der Rotationsmaschine abzuschätzen.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 2 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 1** gezeigten Positionsschätzers zeigt.

Fig. 3 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 4 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 3** gezeigten Positionsschätzers zeigt.

Fig. 5 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 6 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 5** gezeigten Positionsschätzers zeigt.

Fig. 7 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer in **Fig. 5** gezeigten Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit zeigt.

Fig. 8 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 9 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 8** gezeigten Positionsschätzers zeigt.

Fig. 10 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 9** gezeigten adaptiven Schätzers zeigt.

Fig. 11 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 12 ist eine Darstellung, die eine Ausführung eines in **Fig. 11** gezeigten Positionsschätzers zeigt.

Fig. 13 ist eine Darstellung, die ein erstes Hardware-Ausführungsbeispiel der elektrischen-Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen gemäß der ersten bis fünften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigt.

Fig. 14 ist eine Darstellung, die ein zweites Hardware-Ausführungsbeispiel der elektrischen-Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen gemäß der ersten bis fünften Ausführungsformen zeigt.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0011] Eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden mit Bezug auf die Zeichnungen ausführlich beschrieben. Zu beachten ist, dass diese Ausführungsformen nicht dazu dienen, den Schutzbereich dieser Erfindung einzuschränken.

Erste Ausführungsform.

[0012] **Fig. 1** ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform umfasst einen Spannungs-Applikator **5**, der eine Wechselspannung (AC) an eine Rotationsmaschine **1** gemäß Rotationsmaschinen-Spannungsbefehlen v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* zum Antreiben der Rotationsmaschine anlegt; und einen Stromdetektor **2**, der einen Wechselstrom erfasst, der von dem Spannungs-Applikator **5** an die Rotationsmaschine **1** geliefert wird, und den erfassten Wechselstrom als Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} ausgibt. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** umfasst ebenso einen Positionsschätzer **3**, der eine geschätzte Rotorposition θ_r^* , die ein elektrischer Winkel ist, unter der Verwendung der Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* und der Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} berechnet, und eine Steuerung **4**. Die geschätzte Rotorposition θ_r^* ist ein Schätzwert der Rotorposition, die die rotatorische Position eines in der Rotationsmaschine **1** umfassten Rotors (nicht dargestellt) ist. Die geschätzte Rotorposition θ_r^* wird in einem elektrischen Winkel ausgedrückt. Die von der Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gesteuerte Rotationsmaschine **1** ist ein Synchron-Reluktanzmotor. Ein Synchron-Reluktanzmotor ist ein Motor, dessen Induktivität eine variable Induktivitäts-Komponente umfasst, die sich mit der Rotorposition ändert. Die Induktivität hat einen Wert, der durch Dividieren der Flussverkettung der Statorwicklung durch den Statorstromwert erhalten wird. Die Rotationsmaschine **1** kann im Folgenden einfach als „Rotationsmaschine“ bezeichnet werden. Der Spannungs-Applikator **5** ist über drei Leitungen U, V und W mit der Rotationsmaschine verbunden. Der Stromdetektor **2** detektiert die durch diese Leitungen fließenden Wechselströme. Im Folgenden wird die Richtung des Rotors, die die Induktivität maximiert, als d-Achse bezeichnet und die Richtung des Rotors, die die Induktivität minimiert, als q-Achse bezeichnet. Die Rotorposition wird hier in Bezug auf die d-Achse des Rotors dargestellt.

[0013] Die Steuerung **4** umfasst eine Strombefehl-Berechnungseinheit **401**, eine Dreiphasenstrombefehl-Berechnungseinheit **402** und eine Dreiphasenstrom-Steuerung **403**, und berechnet somit die Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* , die bewirken, dass die Rotationsmaschine eine Ausgabe erzeugt, die einem Drehmomentbefehlswert T^* entspricht.

[0014] Die Strombefehl-Berechnungseinheit **401** berechnet einen Strom-Effektivwert-Befehl [current root mean square (RMS) instruction] I_{ph}^* und einen Stromflusswinkel-Befehl ϕ_i^* , die für die Rotationsmaschine erforderlich sind, um eine Ausgabe zu erzeugen, die dem Drehmomentbefehlswert T^* entspricht. Der Stromfluss-

winkel-Befehl φ_i^* ist ein Befehl für den Stromflusswinkel, der den Winkel zwischen der tatsächlichen Rotorposition und dem Rotationsmaschinen-Strom darstellt. In diesem Zusammenhang werden der Strom-Effektivwert-Befehl I_{ph}^* und der Stromflusswinkel-Befehl φ_i^* ausgewählt, um den Strom-Effektivwert für das Drehmoment, d.h. den Kupferverlust der Rotationsmaschine, zu minimieren.

[0015] Die Dreiphasenstrombefehl-Berechnungseinheit **402** berechnet Dreiphasenstrombefehle i_{su}^* , i_{sv}^* und i_{sw}^* unter Verwendung des Strom-Effektivwert-Befehls I_{ph}^* , dem Stromflusswinkel-Befehl φ_i^* und der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$, wie durch unten stehende Formel (1) dargestellt ist.

[Formel 1]

$$\begin{aligned} i_{su}^* &= \sqrt{2} I_{ph}^* \cos(\hat{\theta}_r - \varphi_i^*) \\ i_{sv}^* &= \sqrt{2} I_{ph}^* \cos\left(\hat{\theta}_r + \varphi_i^* - \frac{2}{3}\pi\right) \\ i_{sw}^* &= \sqrt{2} I_{ph}^* \cos\left(\hat{\theta}_r + \varphi_i^* + \frac{2}{3}\pi\right) \end{aligned} \quad (1)$$

[0016] Die Dreiphasenstrom-Steuerung **403** berechnet die Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* . Die Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* werden beispielsweise durch Bereitstellen eines PI-Reglers [proportional integral (PI) control] auf die Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} erhalten, so dass die in einem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} zu den Dreiphasenstrom-Befehlen i_{su}^* , i_{sv}^* und i_{sw}^* werden.

[0017] Fig. 2 ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in Fig. 1 gezeigten Positionsschätzers zeigt. Wie in Fig. 2 dargestellt, umfasst der Positionsschätzer **3** einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **301**, einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **302**, eine variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **303**, einen variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **304**, eine Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **305** und eine Rotorposition-Berechnungseinheit **306**. In der folgenden Beschreibung kann die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **303** als „Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit 303“ bezeichnet werden, der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **304** kann als „Dynamische-Komponenten-Schätzer 304“ bezeichnet werden, und die Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **305** kann als „Schätzfehler-Berechnungseinheit 305“ bezeichnet werden.

[0018] Der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **301** wandelt die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* in in einem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{sa}^* und v_{sb}^* . Zu beachten ist, dass „ v_{sa}^* und v_{sb}^* “ nachfolgend mit „ $V_s^{a\beta*}$ “ bezeichnet werden kann. In der ersten Ausführungsform wird die Dreiphasen-Zweiphasen-Transformation unter Verwendung einer Transformationsmatrix C_{32} der nachstehenden Formel (2) durchgeführt.

[Formel 2]

$$\begin{bmatrix} v_{sa}^* \\ v_{sb}^* \end{bmatrix} = \underbrace{\sqrt{2} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}}_{C_{32}} \begin{bmatrix} v_{su}^* \\ v_{sv}^* \\ v_{sw}^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0019] In ähnlicher Weise wandelt der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **302** die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} in in einem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte Rotationsmaschinen-Ströme i_{sa} und i_{sb} . Zu beachten ist, dass „ i_{sa} und i_{sb} “ nachfolgend mit „ $i_s^{a\beta*}$ “ bezeichnet werden kann.

[0020] Als Nächstes wird eine Operation der Dynamischen-Komponenten-Berechnungseinheit **303** beschrieben. Zuerst wird die Flussverkettung $\Psi_s^{a\beta}$ der Rotationsmaschine durch die nachstehende Formel (3) erhalten.

[Formel 3]

$$\psi_s^{\alpha\beta} = \int \left(v_s^{\alpha\beta*} - R_s i_s^{\alpha\beta} \right) dt \quad (3)$$

[0021] In der obigen Formel (3) ist $v_s^{\alpha\beta*}$ ein in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellter Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl, der Rotationsmaschinen-Strom $i_s^{\alpha\beta}$ ist ein in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellter Rotationsmaschinen-Strom, und R_s ist der Wicklungswiderstand. Zusätzlich kann die Integration der Formel (3) als Formel (4) unten in dem s-Bereich der Laplace-Transformation ausgedrückt werden.

[Formel 4]

$$\psi_s^{\alpha\beta} = \frac{v_s^{\alpha\beta*} - R_s i_s^{\alpha\beta}}{s} \quad (4)$$

[0022] Wenn die Flussverkettung $\Psi_s^{\alpha\beta}$ der Rotationsmaschine durch Integration berechnet wird, ist der Anfangswert typischerweise unbestimmt. Daher wird ein Hochpassfilter (HPF) mit einer Grenzfrequenz verwendet, die ausreichend niedriger ist als die Grundfrequenzkomponente der Flussverkettung $\Psi_s^{\alpha\beta}$ der Rotationsmaschine. Die Übertragungsfunktion eines solchen HPF ist nachfolgend als Formel (5) ausgedrückt, wobei ω_{hpf} die Grenzfrequenz darstellt.

[Formel 5]

$$G_{hpf}(s) = \frac{s}{s + \omega_{hpf}} \quad (5)$$

[0023] Durch Anwenden dieses HPF auf obige Formel (4) wird die Flussverkettung $\Psi_{shpf}^{\alpha\beta}$ unter Verwendung von nachstehender Formel (6) berechnet.

[Formel 6]

$$\psi_{shpf}^{\alpha\beta} = \frac{v_s^{\alpha\beta*} - R_s i_s^{\alpha\beta}}{s + \omega_{hpf}} \quad (6)$$

[0024] Obige Formel (6) kann als nachstehende Formel (7) umgeschrieben werden.

[Formel 7]

$$\psi_{shpf}^{\alpha\beta} = \frac{v_s^{\alpha\beta*} - R_s i_s^{\alpha\beta} - \omega_{hpf} \psi_{shpf}^{\alpha\beta}}{s} \quad (7)$$

[0025] Inzwischen wird die Flussverkettung $\Psi_s^{\alpha\beta}$ der Rotationsmaschine durch nachstehende Formel (8) ausgedrückt.

[Formel 8]

$$\psi_s^{\alpha\beta} = L_{sdc} i_s^{\alpha\beta} + \underbrace{L_{mac} \begin{bmatrix} \cos(2\theta_r) & \sin(2\theta_r) \\ \sin(2\theta_r) & -\cos(2\theta_r) \end{bmatrix}}_{L_{sac}^{\alpha\beta}} i_s^{\alpha\beta} \quad (8)$$

[0026] In obiger Formel (8) steht L_{sdc} für die mittlere Induktivitäts-Komponente, die sich mit der Rotorposition nicht ändert, und L_{mac} steht für die variable Induktivitäts-Komponente, die sich mit der Rotorposition ändert. $L_{sac}^{\alpha\beta}$ steht für die variable Induktivitäts-Komponente. Zudem wird eine Änderung in der Induktivität im Allgemeinen durch eine Sinus-Funktion oder eine Cosinus-Funktion von 2θ , ausgedrückt, wobei θ für die durch einen elektrischen Winkel ausgedrückte Rotorposition steht. In der ersten Ausführungsform ist die durch die variable Induktivitäts-Komponente und den Rotationsmaschinen-Strom $i_s^{\alpha\beta}$ erzeugte Flussverkettung als variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente definiert. Die Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit **303** berechnet eine variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}$ aus nachstehender Formel (9) unter Verwendung der durch obige Formel (7) berechneten Flussverkettung $\Psi_{shpf}^{\alpha\beta}$.

[Formel 9]

$$\psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} = \frac{v_s^{\alpha\beta*} - R_s i_s^{\alpha\beta} - \omega_{hpf} \psi_{shpf}^{\alpha\beta}}{s} - L_{sdc} i_s^{\alpha\beta} \quad (9)$$

[0027] Die unter Verwendung von obiger Formel (9) berechnete variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}$ ist ein berechneter Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der durch die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform berechnet ist.

[0028] Der Dynamische-Komponenten-Schätzer **304** schätzt die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente unter Verwendung des Rotationsmaschinen-Stroms $i_s^{\alpha\beta}$ und der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$, wie in nachstehender Formel (10) gezeigt.

[Formel 10]

$$\hat{\psi}_{sac}^{\alpha\beta} = L_{mac} \underbrace{\begin{bmatrix} \cos(2\hat{\theta}_r) & \sin(2\hat{\theta}_r) \\ \sin(2\hat{\theta}_r) & -\cos(2\hat{\theta}_r) \end{bmatrix}}_{\hat{L}_{sac}^{\alpha\beta}} i_s^{\alpha\beta} \quad (10)$$

[0029] $\Psi_{sac}^{\alpha\beta}$ berechnet unter Verwendung obiger Formel (10) ist ein geschätzter Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der durch die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform berechnet ist. „ $L_c^{\alpha\beta}$ “ in obiger Formel (10) ist „geschätzter Wert der variablen Induktivitäts-Komponente“.

[0030] Die Schätzfehler-Berechnungseinheit **305** berechnet einen Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und des geschätzten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente. Das Kreuzprodukt des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und des geschätzten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente wird unter Verwendung obiger Formel (9) als nachstehende Formel (11) ausgedrückt, d.h. der Wert der aus der Berechnung des zweiten Terms der obigen Formel (8) unter Verwendung von obiger Formel (10) resultiert.

[Formel 11]

$$\hat{\psi}_{sac}^{\alpha\beta} \times \psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} = \left| \hat{\psi}_{sac}^{\alpha\beta} \right| \left| \psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} \right| \sin\left(2\left(\theta_r - \hat{\theta}_r\right)\right) \quad (11)$$

[0031] Unter der Annahme, dass hier der geschätzte Wert und der tatsächliche Wert der Rotorposition annähernd gleich sind, d.h. $\hat{\theta}_r \approx \theta_r$, kann der Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung nachstehender Formel (12) berechnet werden. Die Schätzfehler-Berechnungseinheit **305** gibt den berechneten Schätzfehler der Rotorposition an die Rotorposition-Berechnungseinheit **306** aus.

[Formel 12]

$$-\left(\hat{\theta}_r - \theta_r\right) = \frac{1}{2} \frac{\hat{\psi}_{sac}^{\alpha\beta} \times \psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}}{\left| \hat{\psi}_{sac}^{\alpha\beta} \right| \left| \psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} \right|} \quad (12)$$

[0032] Die Rotorposition-Berechnungseinheit **306** stellt einen PI-Regler auf den Schätzfehler der Rotorposition bereit und dann ein Integral des Ergebnisses, um so die geschätzte Rotorposition $\hat{\theta}_r$ zu berechnen.

[0033] Die in oben beschriebener Patentliteratur 2 offenbarte Technologie subtrahiert das Produkt der q-Achsen-Induktivität L_{sq} des Rotors und des Rotationsmaschinen-Stroms $i_s^{\alpha\beta}$ von der Flussverkettung $\Psi_s^{\alpha\beta}$ der Rotationsmaschine, wie in nachfolgender Formel (13) gezeigt. Dies extrahiert den aktiven Fluss der Flussverkettung in Bezug auf die d-Achse ($\Psi_{AFd}^{\alpha\beta}$), die die Komponente ist, die sich synchron mit der Rotorposition dreht.

[Formel 13]

$$\psi_{AFd}^{\alpha\beta} = \psi_s^{\alpha\beta} - L_{sq} i_s^{\alpha\beta} \quad (13)$$

[0034] Die in Formel (13) gezeigte q-Achsen-Induktivität L_{sq} kann ausgedrückt werden als $L_{sq}=L_{sdc}-L_{mac}$. Zudem wird der Rotationsmaschinen-Strom $i_s^{\alpha\beta}$ als nachstehende Formel (14) ausgedrückt.
[Formel 14]

$$i_s^{\alpha\beta} = \sqrt{3}I_{ph} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r + \varphi_i) \\ \sin(\theta_r + \varphi_i) \end{bmatrix} \quad (14)$$

[0035] In obiger Formel (14) steht I_{ph} für den Strom-Effektivwert und φ_i steht für den Stromflusswinkel, d.h. einen winkelmäßigen Unterschied zwischen der Rotorposition und dem Rotationsmaschinen-Strom.

[0036] Substitution der obigen Formeln (8) und (14) für die rechte Seite der obigen Formel (13) führt zu dem aktiven Fluss in Bezug auf die d-Achse ($\Psi_{AFd}^{\alpha\beta}$), wie er durch Formel (15) ausgedrückt ist.
[Formel 15]

$$\Psi_{AFd}^{\alpha\beta} = \underbrace{2L_{mac} \sqrt{3}I_{ph} \cos\varphi_i}_{(L_{sd}-L_{sq})i_{sd}} \begin{bmatrix} \cos \theta_r \\ \sin \theta_r \end{bmatrix} \quad (15)$$

[0037] L_{sd} der obigen Formel (15) kann als $L_{sd}=L_{sdc}+L_{mac}$ ausgedrückt werden. Zudem werden die d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} , wie durch nachstehende Formel (16) gezeigt, erhalten, indem eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die α - β -Achsen-Ströme unter Verwendung der Rotorposition θ_r ausgeführt wird. Zu beachten ist, dass in der folgenden Beschreibung die d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} auch als „Rotationsmaschinen-Strom i_s^{dq} “ bezeichnet werden können.
[Formel 16]

$$\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix}}_{C_{dq}(\theta_r)} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (16)$$

[0038] Die Rotationskoordinaten-Transformation der ersten Ausführungsform wird unter Verwendung einer Transformationsmatrix C_{dq} aus obiger Formel (16) ausgeführt. Der aktive Fluss aus obiger Formel (15) ist in Richtung der d-Achse des Rotors, und die Schätzung dessen unter Verwendung eines Beobachters oder Ähnlichem ermöglicht es, die Rotorposition zu berechnen. Die in oben beschriebener Patentliteratur 3 offenbarte Technologie schätzt die Rotorposition unter Verwendung der induzierten Spannung, die durch den aktiven Fluss in Bezug auf die d-Achse erzeugt wird. Zudem beschreibt die oben erwähnte Patentliteratur 2 auch den aktiven Fluss in Bezug auf die q-Achse, der durch Subtraktion des Produkts der d-Achsen-Induktivität des Rotors und des Rotationsmaschinen-Stroms von der Flussverkettung der Rotationsmaschine, wie durch nachfolgende Formel (17) gezeigt, erhalten wird.
[Formel 17]

$$\Psi_{AFq}^{\alpha\beta} = \Psi_s^{\alpha\beta} - L_{sd}i_s^{\alpha\beta} \quad (17)$$

[0039] Ähnlich wie in dem Fall der d-Achsen-Referenz ergibt die Substitution der obigen Formeln (8) und (14) für die rechte Seite der obigen Formel (17) den aktiven Fluss in Bezug auf die q-Achse ($\Psi_{AFq}^{\alpha\beta}$), wie er durch nachstehende Formel (18) ausgedrückt ist.
[Formel 18]

$$\Psi_{AFq}^{\alpha\beta} = \underbrace{-2L_{mac} \sqrt{3}I_{ph} \sin\varphi_i}_{(L_{sq}-L_{sd})i_{sq}} \begin{bmatrix} -\sin \theta_r \\ \cos \theta_r \end{bmatrix} \quad (18)$$

[0040] Der aktive Fluss in Bezug auf die q-Achse ist in der q-Achsen-Richtung des Rotors und die Schätzung dessen unter Verwendung eines Beobachters oder Ähnlichem ermöglicht es, die Rotorposition abzuschätzen. Der aktive Fluss in Bezug auf die d-Achse wird jedoch einen Wert von Null haben, wenn die Stromflussrichtung nur die q-Achsen-Richtung des Rotors ist, d.h. $i_{sd}=0$. Daher kann dies bei der Rotorpositions-Schätzung

nicht verwendet werden. In ähnlicher Weise wird der aktive Fluss in Bezug auf die q-Achse einen Wert von Null haben, wenn die Stromflussrichtung nur die d-Achsen-Richtung des Rotors ist, d.h. $i_{sq}=0$. Daher kann dies bei der Rotorpositions-Schätzung nicht verwendet werden. Das in oben beschriebener Patentliteratur 4 offenbarte positionssensorlose Steuerungsverfahren löst diese Probleme, indem sowohl die aktiven Flüsse in Bezug auf die d-Achse als auch in Bezug auf die q-Achse auf der Basis der d-Achsen-Komponente und der q-Achsen-Komponente des Rotationsmaschinen-Stroms oder der Flussverkettung gewichtet werden, und indem das Ergebnis bei der Rotorpositions-Schätzung verwendet wird. Die Gewichtungs-Operation auf Basis der d-Achsen-Komponente und der q-Achsen-Komponente des Rotationsmaschinen-Stroms oder der Flussverkettung beinhaltet jedoch Komplexität des Steuerungsdesigns und der Steuerungsverarbeitung sowie der Rotorpositions-Schätzung.

[0041] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform schätzt die Rotorposition unter Verwendung der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, d.h. des zweiten Terms obiger Formel (8) und obiger Formel (10). Diese variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente weist beide Komponenten der beiden jeweiligen Phasen auf und ermöglicht so unter Verwendung dieser variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung abzuschätzen. Zudem muss die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform keine Gewichtung in Abhängigkeit von der aktuellen Stromflussrichtung vornehmen. Somit bietet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie mit einer einfacheren Ausführung in der Lage ist, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung einer Rotationsmaschine abzuschätzen.

Zweite Ausführungsform.

[0042] **Fig. 3** ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. In der Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform ist eine Änderung in der Induktivität der Rotationsmaschine durch eine Sinus-Funktion oder Cosinus-Funktion von $2\theta_r$ dargestellt, wobei θ_r für die Rotorposition steht. Die tatsächliche Änderung in der Induktivität folgt jedoch nicht genau einer Sinus-Funktion oder Cosinus-Funktion von $2\theta_r$, wodurch ein Fehler in der geschätzten Rotorposition verursacht wird. Zudem benötigt die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100** gemäß der ersten Ausführungsform eine Sinus-Funktion und eine Cosinus-Funktion von $2\theta_r$ um die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente aus obiger Formel (10) abzuschätzen, wodurch sich der Rechenaufwand für die Steuerung erhöht. Eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform ist dazu eingerichtet, dass sie in der Lage ist, die Rotorposition mit einem geringen Rechenaufwand für die Steuerung genau abzuschätzen. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform umfasst einen Positionsschätzer **6** und eine Steuerung **7** anstelle des in **Fig. 1** gezeigten Positionsschätzers **3** und der Steuerung **4**. Der andere Teil der Ausführung ist gleich oder äquivalent zu der Ausführung der ersten Ausführungsform. Das gleiche oder ein äquivalentes Ausführungselement wird durch das gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet und eine doppelte Beschreibung dessen wird weggelassen.

[0043] Die Steuerung **7** umfasst eine Strombefehl-Berechnungseinheit **701**, eine d-q-Strom-Steuerung **702**, einen Rotationskoordinaten-Umkehrtransformator **703**, einen Zweiphasen-Dreiphasen-Transformator **704**, einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **705** und einen Rotationskoordinaten-Transformator **706** zum Berechnen der Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* , die Bewirken, dass die Rotationsmaschine eine Ausgabe erzeugt, die dem DrehmomentBefehlswert T^* entspricht.

[0044] Die Strombefehl-Berechnungseinheit **701** berechnet die in einem rotierenden Bezugssystem dargestellten Strombefehle i_{sd}^* und i_{sq}^* , die für die Rotationsmaschine erforderlich sind, um eine Ausgabe zu erzeugen, die dem Drehmoment-Befehlswert T^* entspricht. In diesem Zusammenhang werden die in einem rotierenden Bezugssystem dargestellten Strombefehle i_{sd}^* und i_{sq}^* so gewählt, dass der Strom-Effektivwert für das Drehmoment, d.h. der Kupferverlust der Rotationsmaschine, minimiert wird.

[0045] Die d-q-Strom-Steuerung **702** stellt eine Steuerung derart bereit, dass die d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} , die durch eine Rotationskoordinaten-Transformation des Rotationskoordinaten-Transformators **706** erzeugt werden, zu den Strombefehlen i_{sd}^* und i_{sq}^* werden und berechnet die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{sd}^* und v_{sq}^* . Diese Stromsteuerung erfolgt zum Beispiel unter Verwendung eines PI-Reglers [proportional integral control] oder Ähnlichem.

[0046] Der Rotationskoordinaten-Umkehrtransformator **703** führt, wie durch nachfolgende Formel (19) gezeigt, eine Rotationskoordinaten-Umkehrtransformation auf die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{sd}^* und v_{sq}^* aus zu den in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehlen $v_{s\alpha}^*$ und $v_{s\beta}^*$, unter Verwendung der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$, die von dem Positionsschätzer **6** berechnet wird. In der zweiten Ausführungsform wird die Rotationskoordinaten-Umkehrtransformation unter Verwendung einer Transformationsmatrix $C_{dq}^{-1}(\hat{\theta}_r)$ nachstehender Formel (19) durchgeführt.

[Formel 19]

$$\begin{bmatrix} v_{s\alpha}^* \\ v_{s\beta}^* \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \cos \hat{\theta}_r & -\sin \hat{\theta}_r \\ \sin \hat{\theta}_r & \cos \hat{\theta}_r \end{bmatrix}}_{C_{dq}^{-1}(\hat{\theta}_r)} \begin{bmatrix} v_{sd}^* \\ v_{sq}^* \end{bmatrix} \quad (19)$$

[0047] Der Zweiphasen-Dreiphasen-Transformator **704** transformiert, wie durch nachstehende Formel (20) gezeigt, die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle $v_{s\alpha}^*$ und $v_{s\beta}^*$ in die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* . In der zweiten Ausführungsform wird die Zweiphasen-Dreiphasen-Transformation unter Verwendung einer Transformationsmatrix C_{23} nachfolgender Formel (20) durchgeführt.

[Formel 20]

$$\begin{bmatrix} v_{su}^* \\ v_{sv}^* \\ v_{sw}^* \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}}_{C_{23}} \begin{bmatrix} v_{s\alpha}^* \\ v_{s\beta}^* \end{bmatrix} \quad (20)$$

[0048] Der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **705** führt eine Dreiphasen-Zweiphasen-Transformation auf die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} in die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_{s\alpha}$ und $i_{s\beta}$ aus. Der Rotationskoordinaten-Transformator **706** führt eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_{s\alpha}$ und $i_{s\beta}$ in die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} unter Verwendung der abgeschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ aus.

[0049] Fig. 4 ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in Fig. 3 gezeigten Positionsschätzers zeigt. Wie in Fig. 4 gezeigt, umfasst der Positionsschätzer **6** einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **601**, einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **602**, einen Rotationskoordinaten-Transformator **603**, eine variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **604**, einen variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **605**, eine Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **606** und eine Rotorposition-Berechnungseinheit **607**. In dem Positionsschätzer **6** arbeiten der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **602**, die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **604** und der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **605** anders als die entsprechenden Einheiten der ersten Ausführungsform. In der folgenden Beschreibung kann die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **604** auch als „Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit 604“ bezeichnet werden, der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **605** kann auch als „Dynamische-Komponenten-Schätzer 605“ bezeichnet werden, und die Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **606** kann auch als „Schätzfehler-Berechnungseinheit 606“ bezeichnet werden.

[0050] Ähnlich wie der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **301** der ersten Ausführungsform wandelt der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **601** die im Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* in die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle $v_{s\alpha}^*$ und $v_{s\beta}^*$. Ähnlich wie der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **302** der ersten Ausführungsform wandelt der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **602** die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme i_{su} , i_{sv} und i_{sw} in die im Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_{s\alpha}$ und $i_{s\beta}$.

[0051] Die Flussverkettung Ψ_s^{ab} der Rotationsmaschine wird im Zweiphasen-Bezugssystem als obige Formel (8) dargestellt, während die durch nachstehende Formel (21) dargestellte Flussverkettung Ψ_s^{dq} der Rotationsmaschine ein Ergebnis einer Rotationskoordinaten-Transformation der Flussverkettung Ψ_s^{ab} der Rotationsmaschine unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels θ_s ist. Der zweite Term nachstehender Formel (21) steht für die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, die durch die variable Induktivitäts-Komponente und den Rotationsmaschinen-Strom gebildet wird.

[Formel 21]

$$\psi_s^{dq} = L_{sdc} i_s^{dq} + L_{mac} \begin{bmatrix} \cos(2(\theta_r - \theta_s)) & \sin(2(\theta_r - \theta_s)) \\ \sin(2(\theta_r - \theta_s)) & -\cos(2(\theta_r - \theta_s)) \end{bmatrix} i_s^{dq} \quad (21)$$

[0052] Die Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit **604** berechnet zuerst die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte Flussverkettung Ψ_{shpf}^{ab} unter Verwendung obiger Formel (7) ähnlich wie in dem Fall der ersten Ausführungsform. Die Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit **604** führt dann eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die Flussverkettung Ψ_{shpf}^{ab} aus, um die Flussverkettung Ψ_{shpf}^{dq} zu erzeugen. Eine im rotierenden Bezugssystem dargestellte variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $W_{sac,calc}^{dq}$ wird unter Verwendung nachstehender Formel (22) auf der Basis von obiger Formel (21) berechnet. Die unter Verwendung von nachstehender Formel (22) berechnete variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{dq}$ wird nachfolgend als „berechneter Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente“ bezeichnet.

[Formel 22]

$$\psi_{sac,calc}^{dq} = \psi_{shpf}^{dq} - L_{sdc} i_s^{dq} \quad (22)$$

[0053] Der Rotationskoordinaten-Transformator **603** führt eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme i_{sa} und i_{sb} in die im rotierenden Bezugssystem dargestellten d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} unter Verwendung der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ aus.

[0054] Der Dynamische-Komponenten-Schätzer **605** schätzt die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente unter Verwendung des Rotationsmaschinen-Stroms i_s^{dq} wie in nachfolgend gezeigter Formel (23).

[Formel 23]

$$\hat{\psi}_{sac}^{dq} = L_{mac} \begin{bmatrix} \cos(2(\hat{\theta}_r - \theta_s)) & \sin(2(\hat{\theta}_r - \theta_s)) \\ \sin(2(\hat{\theta}_r - \theta_s)) & -\cos(2(\hat{\theta}_r - \theta_s)) \end{bmatrix} i_s^{dq} \quad (23)$$

[0055] In diesem Zusammenhang ermöglicht die Verwendung der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ als Steuerkoordinatenwinkel θ_s in obiger Formel (23) eine wie in nachstehender Formel (24) gezeigte Vereinfachung obiger Formel (23).

[Formel 24]

$$\hat{\psi}_{sac}^{dq} = L_{mac} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} i_s^{dq} \quad (24)$$

[0056] Ψ_{sac}^{dq} obiger Formel (24) steht für den geschätzten Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der durch die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform berechnet wird.

[0057] Die Schätzfehler-Berechnungseinheit **606** berechnet, ähnlich wie die Schätzfehler-Berechnungseinheit **305** der ersten Ausführungsform, den Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und des geschätzten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente. Die Rotorposition-Berechnungseinheit **607** stellt einen PI-Regler auf den Schätzfehler der Rotorposition bereit und berechnet dann ein Integral dieses Ergebnisses, um so die

geschätzte Rotorposition $\hat{\theta}_r$ zu berechnen, ähnlich wie die Rotorposition-Berechnungseinheit **306** der ersten Ausführungsform.

[0058] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform berechnet die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente wie in obiger Formel (22) gezeigt und schätzt die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente wie in obiger Formel (24) gezeigt in einem rotierenden Bezugssystem, das mit der Rotorposition synchronisiert ist. Diese variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente weist beide Komponenten der beiden entsprechenden Phasen auf, und somit ermöglicht die Verwendung dieser variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung abzuschätzen. Zudem muss die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform keine Gewichtung in Abhängigkeit von der Stromflussrichtung vornehmen. Darüber hinaus verwendet obige Formel (24), die eine arithmetische Gleichung für die im rotierenden Bezugssystem dargestellte variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist, in der zweiten Ausführungsform den Induktivitätswert auf der d-Achse in dem rotierenden Bezugssystem und den Induktivitätswert auf der q-Achse in dem rotierenden Bezugssystem. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, die Induktivität unter Verwendung einer Sinus-Funktion oder Cosinus-Funktion von $2\theta_r$ auszudrücken, wobei θ_r für die Rotorposition steht. Dadurch wird verhindert, dass ein Rotor-Schätzfehler auftritt, der dadurch verursacht würde, dass die tatsächliche Induktivität der Rotationsmaschine nicht genau einer Sinus-Funktion oder Cosinus-Funktion von $2\theta_r$ folgt. Des Weiteren benötigt die zweite Ausführungsform keine Sinus-Funktion oder Cosinus-Funktion von $2\theta_r$, um die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente abzuschätzen. Somit bietet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100A** gemäß der zweiten Ausführungsform einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie in der Lage ist, die Rotorposition mit einem geringen Rechenaufwand für die Steuerung genau abzuschätzen.

Dritte Ausführungsform.

[0059] Fig. 5 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** gemäß der dritten Ausführungsform ist dazu eingerichtet, in der Lage zu sein, die Drehzahl und die rotatorische Position des Rotors mit einer höheren Empfindlichkeit und stabiler abzuschätzen. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** umfasst einen Positionsschätzer **8** und eine Steuerung **10** anstelle des Positionsschätzers **6** und der Steuerung **7** gemäß der in Fig. 3 gezeigten zweiten Ausführungsform. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** umfasst auch eine Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit **9**. In der folgenden Beschreibung kann die Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit **9** auch als „Winkel-Berechnungseinheit 9“ bezeichnet werden. Der andere Teil der Ausführung ist gleich oder äquivalent zu der Ausführung der zweiten Ausführungsform. Das gleiche oder ein äquivalentes Ausführungselement wird durch das gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet und eine doppelte Beschreibung dessen wird weggelassen.

[0060] Die Steuerung **10** umfasst eine Geschwindigkeit-Berechnungseinheit **1001**, die Strombefehl-Berechnungseinheit **701**, die d-q Strom-Steuerung **702**, einen Rotationskoordinaten-Umkehrtransformator **1002**, den Zweiphasen-Dreiphasen-Transformator **704**, den Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **705** und einen Rotationskoordinaten-Transformator **1003** zum Berechnen der Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{su}^* , v_{sv}^* und v_{sw}^* , die bewirken, dass die Rotationsmaschine die Drehzahl liefert, die einem Drehzahl-Befehlswert ω_r^* entspricht.

[0061] Die Geschwindigkeit-Berechnungseinheit **1001** stellt zum Beispiel einen PI-Regler [proportional integral control] bereit, so dass eine geschätzte Drehzahl $\hat{\omega}_r$ zu dem Drehzahl-Befehlswert ω_r^* wird und berechnet den Drehmoment-Befehlswert T^* .

[0062] Der Rotationskoordinaten-Umkehrtransformator **1002** führt eine Rotationskoordinaten-Umkehrtransformation auf die im rotierenden Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle v_{sd}^* und v_{sq}^* in die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle $v_{s\alpha}^*$ und $v_{s\beta}^*$ unter Verwendung des durch die Winkel-Berechnungseinheit **9** berechneten Steuerkoordinatenwinkels θ_s aus.

[0063] Der Rotationskoordinaten-Transformator **1003** führt eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die im Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_{s\alpha}$ und $i_{s\beta}$ in die im rotierenden Bezugssystem dargestellten d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_{sq} unter Verwendung des durch die Winkel-Berechnungseinheit **9** berechneten Steuerkoordinatenwinkels θ_s aus.

[0064] Der Positionsschätzer **8** berechnet die geschätzte Drehzahl ω_r^\wedge und die geschätzte Rotorposition θ_r^\wedge . **Fig. 6** ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in **Fig. 5** gezeigten Positionsschätzers zeigt. Wie in **Fig. 6** gezeigt, umfasst der Positionsschätzer **8** den Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **601**, den Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **602**, einen Rotationskoordinaten-Transformator **801**, eine variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **802**, einen variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **803**, die Schätzfehler-Berechnungseinheit **606** und eine Rotorposition-Berechnungseinheit **804**. In der folgenden Beschreibung kann die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit **802** auch als „Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit 802“ bezeichnet werden, und der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer **803** kann auch als „Dynamische-Komponenten-Schätzer 803“ bezeichnet werden.

[0065] Ähnlich wie in dem Fall der zweiten Ausführungsform berechnet die Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit **802** die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellte variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{dq}$, d.h. den berechneten Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente. Die Rotationskoordinaten-Transformation wird jedoch unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels θ_s und nicht unter Verwendung der geschätzten Rotorposition θ_r^\wedge ausgeführt.

[0066] Der Rotationskoordinaten-Transformator **801** führt eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_{s\alpha}$ und $i_{s\beta}$ in die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten d- und q-Achsen-Ströme i_{sd} und i_s^q , unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels θ_s aus.

[0067] Der Dynamische-Komponenten-Schätzer **803** schätzt, wie in obiger Formel (23) gezeigt, die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente unter Verwendung des Rotationsmaschinen-Stroms i_s^{dq} . Da der Positionsschätzer **8** so arbeitet, dass die geschätzte Rotorposition θ_r^\wedge , die von dem Positionsschätzer **8** berechnet wird, nahezu gleich dem Steuerkoordinatenwinkel θ_s ist, der von der Winkel-Berechnungseinheit **9** berechnet wird, kann obige Formel (23), die eine arithmetische Gleichung für die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist, als nachstehende Formel (25) vereinfacht werden.

[Formel 25]

$$\hat{\Psi}_{sac}^{dq} = L_{max} \begin{bmatrix} 1 & 2(\hat{\theta}_r - \theta_s) \\ 2(\hat{\theta}_r - \theta_s) & -1 \end{bmatrix} i_s^{dq} \quad (25)$$

[0068] $\hat{\Psi}_{sac}^{dq}$ aus obiger Formel (25) ist der geschätzte Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der durch die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** gemäß der dritten Ausführungsform berechnet wird.

[0069] Die Rotorposition-Berechnungseinheit **804** stellt einen PI-Regler auf den Schätzfehler der Rotorposition bereit, um die geschätzte Drehzahl ω_r^\wedge zu berechnen. Die Rotorposition-Berechnungseinheit **804** integriert dann die geschätzte Drehzahl ω_r^\wedge , um die geschätzte Rotorposition θ_r^\wedge zu berechnen.

[0070] **Fig. 7** ist eine Darstellung, die eine Ausführung der in **Fig. 5** gezeigten Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit **9** zeigt. Die Winkel-Berechnungseinheit **9** stellt einen PI-Regler auf den Fehler zwischen der geschätzten Rotorposition θ_r^\wedge und dem Steuerkoordinatenwinkel θ_s bereit und integriert dann das Ergebnis, um so den Steuerkoordinatenwinkel θ_s zu berechnen, wodurch der Steuerkoordinatenwinkel θ_s der geschätzten Rotorposition θ_r^\wedge folgen kann. Die folgende Antwort darauf ist unter Verwendung der Verstärkung des PI-Reglers [gain of the proportional integral control] auf einen beliebigen Pegel einstellbar.

[0071] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** gemäß der dritten Ausführungsform verwendet den Steuerkoordinatenwinkel θ_s , der der geschätzten Rotorposition θ_r^\wedge mit einer beliebigen Antwort folgt, anstatt direkt die geschätzte Rotorposition θ_r^\wedge als Winkel für die Verwendung in der Rotationskoordinaten-Transformation durch den Positionsschätzer **8** und die Steuerung **10** zu verwenden. Die Schätzung der Rotorposition und der Drehzahl mit einer höheren Empfindlichkeit kann dazu führen, dass die Antwort der geschätzten Rotorposition θ_r^\wedge oszillierend ist. Auch in diesem Fall ermöglicht die Einstellung des Steuerkoordinatenwinkels θ_s , mit einer Empfindlichkeit zu folgen, die niedriger als die Empfindlichkeit der Positionsschätzung zum Eliminieren der Oszillation ist, die Rotationsmaschinen-Steuerung, einschließlich der Rotorpositions-Schätzung, stabil durchzuführen. Somit bietet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100B** gemäß der dritten Ausführungs-

form einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie in der Lage ist, die Drehzahl und die rotatorische Position des Rotors mit einer höheren Empfindlichkeit und stabiler zu schätzen.

Vierte Ausführungsform.

[0072] Fig. 8 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen **100**, **100A** und **100B** gemäß den ersten, zweiten und dritten Ausführungsformen schätzen jeweils die Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts und des geschätzten Werts der variablen Flussverkehtungs-Induktivitäts-Komponente. Im Gegensatz dazu ist eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform dazu eingerichtet, die Rotorposition unter Verwendung eines adaptiven Beobachters zu schätzen. Der Begriff „adaptiver Beobachter“ bezieht sich auf einen gesamten Beobachter, wenn eine Schätzung unter Verwendung einer adaptiven Schätzung des in Formel (34) enthaltenen Parameters (Rotorposition) durchgeführt wird, bei der es sich um eine arithmetische Gleichung für den Faktor H der nachfolgend beschriebenen Formel (33) handelt. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** umfasst einen Positionsschätzer **11** anstelle des Positionsschätzers **6** gemäß der in Fig. 3 dargestellten zweiten Ausführungsform. Der andere Teil der Ausführung ist gleich oder äquivalent zu der Ausführung der zweiten Ausführungsform. Das gleiche oder ein äquivalentes Ausführungselement wird mit dem gleichen Bezugszeichen bezeichnet und eine doppelte Beschreibung dessen wird weggelassen.

[0073] Fig. 9 ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in Fig. 8 gezeigten Positionsschätzers zeigt. Der Positionsschätzer **11** umfasst einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **1101**, einen Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **1102**, eine Flussverkehtungs-Induktivität-Berechnungseinheit **1103**, einen Rotationskoordinaten-Transformator **1104**, einen adaptiven Beobachter **1105** und einen adaptiven Schätzer **1106**.

[0074] Der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **1101** führt eine Koordinatentransformation auf die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle in die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehle $v_s^{\alpha\beta*}$ aus. Der Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **1102** führt eine Koordinatentransformation auf die in dem Dreiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme in die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Ströme $i_s^{\alpha\beta}$ aus. Die Flussverkehtungs-Induktivität-Berechnungseinheit **1103** berechnet, ähnlich wie in dem Fall der zweiten Ausführungsform, die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte Flussverkehtung $\Psi_{shpf}^{\alpha\beta}$ und führt dann eine Rotationskoordinaten-Transformation auf die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte Flussverkehtung $\Psi_{shpf}^{\alpha\beta}$ in die in dem rotierenden Bezugssystem dargestellte Flussverkehtung Ψ_s^{dq} unter Verwendung der abgeschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ aus.

[0075] In der Zwischenzeit transformiert der Rotationskoordinaten-Transformator **1104** den in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl $v_s^{\alpha\beta*}$ in den in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl v_s^{dq*} . Dann berechnet der adaptive Beobachter **1105** die geschätzte Rotorposition $\hat{\theta}_r$ unter Verwendung des Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls v_s^{dq*} und der in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten Flussverkehtung Ψ_s^{dq} .

[0076] Eine Operation des adaptiven Beobachters **1105** wird beschrieben. Zunächst wird ein Modell der Rotationsmaschine im Zweiphasen-Bezugssystem als nachstehende Formeln (26) und (27) ausgedrückt.

[Formel 26]

$$v_s^{\alpha\beta} = R_s i_s^{\alpha\beta} + \frac{d}{dt} \psi_s^{\alpha\beta} \quad (26)$$

[Formel 27]

$$\psi_s^{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} L_{sdc} + L_{mac} \cos(2\theta_r) & L_{mac} \sin(2\theta_r) \\ L_{mac} \sin(2\theta_r) & L_{sdc} - L_{mac} \cos(2\theta_r) \end{bmatrix} i_s^{\alpha\beta} \quad (27)$$

[0077] Nimmt man die Flussverkehtung als Parameter wird das Modell der obigen Formeln (26) und (27) als nachstehende Formel (28) ausgedrückt.

[Formel 28]

$$\frac{d}{dt} \psi_s^{\alpha\beta} = - \frac{R_s}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} \begin{bmatrix} L_{sdc} - L_{mac} \cos(2\theta_r) & -L_{mac} \sin(2\theta_r) \\ -L_{mac} \sin(2\theta_r) & L_{sdc} + L_{mac} \cos(2\theta_r) \end{bmatrix} \psi_s^{\alpha\beta} + v_s^{\alpha\beta} \quad (28)$$

[0078] Das Modell der obigen Formeln (26) und (27) wird in dem rotierenden Bezugssystem als nachfolgende Formeln (29) und (30) ausgedrückt.

[Formel 29]

$$v_s^{dq} = R_s i_s^{dq} + \frac{d}{dt} \psi_s^{dq} + \omega_s J \psi_s^{dq} \quad (29)$$

[Formel 30]

$$\psi_s^{dq} = \begin{bmatrix} L_{sdc} + L_{mac} \cos(2(\theta_r - \theta_s)) & L_{mac} \sin(2(\theta_r - \theta_s)) \\ L_{mac} \sin(2(\theta_r - \theta_s)) & L_{sdc} - L_{mac} \cos(2(\theta_r - \theta_s)) \end{bmatrix} i_s^{dq} \quad (30)$$

[0079] Nimmt man die Flussverkettung als Parameter, wird das Modell der obigen Formeln (29) und (30) als nachstehende Formel (31) ausgedrückt. Nachstehende Formel (31) steht für einen Beobachter zum Abschätzen der Flussverkettung Ψ_s^{dq} .

[Formel 31]

$$\frac{d}{dt} \psi_s^{dq} = - \frac{R_s}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} \begin{bmatrix} L_{sdc} - L_{mac} \cos(2(\theta_r - \theta_s)) & -L_{mac} \sin(2(\theta_r - \theta_s)) \\ -L_{mac} \sin(2(\theta_r - \theta_s)) & L_{sdc} + L_{mac} \cos(2(\theta_r - \theta_s)) \end{bmatrix} \psi_s^{dq} - \omega_s J \psi_s^{dq} + v_s^{dq} \quad (31)$$

[0080] Zudem wird unter Annahme, dass die Rotorposition θ_r und der Steuerkoordinatenwinkel θ_s nahezu gleich sind, d.h. $\theta_r \approx \theta_s$, das Modell obiger Formel (31) als nachfolgende Formel (32) ausgedrückt.

[Formel 32]

$$\frac{d}{dt} \psi_s^{dq} = \frac{R_s}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} \begin{bmatrix} -L_{sdc} + L_{mac} & 2L_{mac}(\theta_r - \theta_s) \\ 2L_{mac}(\theta_r - \theta_s) & -L_{sdc} - L_{mac} \end{bmatrix} \psi_s^{dq} - \omega_s J \psi_s^{dq} + v_s^{dq} \quad (32)$$

[0081] Um die Rotorposition abzuschätzen, wird der Beobachter zunächst als nachstehende Formel (33) ausgedrückt.

[Formel 33]

$$\frac{d}{dt} \hat{\psi}_s^{dq} = \frac{R_s}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} \begin{bmatrix} -L_{sdc} + L_{mac} & 2L_{mac}(\hat{\theta}_r - \theta_s) \\ 2L_{mac}(\hat{\theta}_r - \theta_s) & -L_{sdc} - L_{mac} \end{bmatrix} \hat{\psi}_s^{dq} - \omega_s J \psi_s^{dq} + v_s^{dq} - H(\hat{\psi}_s^{dq} - \psi_s^{dq}) \quad (33)$$

[0082] An diesem Punkt erlaubt, wie durch nachstehende Formel (34) gezeigt, ein geeigneter Entwurf einer Beobacherverstärkung H , dass die geschätzte Flussverkettung Ψ_s^{dq} des Beobachters bei einer Antwort ω_{cobs} , was ein tatsächlicher Wert ist, konvergiert. Zu beachten ist, dass das Design der Beobacherverstärkung H nicht auf das Beispiel nachstehender Formel (34) beschränkt ist.

[Formel 34]

$$H = \begin{bmatrix} \omega_{cobs} - \frac{R_s}{L_{sdc} + L_{mac}} & \frac{2R_s L_{mac} (\hat{\theta}_r - \theta_s)}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} + \omega_s \\ \frac{2R_s L_{mac} (\hat{\theta}_r - \theta_s)}{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2} - \omega_s & \omega_{cobs} - \frac{R_s}{L_{sdc} - L_{mac}} \end{bmatrix} \quad (34)$$

[0083] In dem Beobachter wird ein Fehler der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ zu einem Fehler in der geschätzten Flussverkettung Ψ^{dq} . Der adaptive Schätzer **1106** berechnet die Rotorposition auf der Basis eines Schätzfehlers der Flussverkettung in Bezug auf die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der sich aus einem Schätzfehler der Rotorposition ergibt.

[0084] **Fig. 10** ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in **Fig. 9** gezeigten adaptiven Schätzers zeigt. Wie in **Fig. 10** gezeigt, berechnet der adaptive Schätzer **1106** die geschätzte Rotorposition $\hat{\theta}_r$ des Rotors unter Verwendung eines adaptiven Gesetzes nachstehender Formel (35).

[Formel 35]

$$\hat{\theta}_r = \frac{1}{s} k_{ap} \left(1 + \frac{\omega_{ai}}{s} \right) \left(\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \hat{\psi}_s^{dq} \right) \underbrace{\left(\hat{\psi}_s^{dq} - \psi_s^{dq} \right)}_{e_{\psi}^{dq}} \quad (35)$$

[0085] In diesem Zusammenhang wird unter der Annahme, dass k_{ap} aus obiger Formel (35) den unter Verwendung nachstehender Formel (36) berechneten Wert hat, und dass ω_{ai} aus obiger Formel (35) den aus nachfolgender Formel (37) berechneten Wert hat, die geschätzte Antwort der Rotorposition ω_{ca} sein. Der Parameter k_{ap} aus obiger Formel (35) steht für eine adaptiv geschätzte proportionale Verstärkung und ω_{ai} aus obiger Formel (35) steht für eine adaptiv geschätzte integrale Antwort.

[Formel 36]

$$k_{ap} = \omega_{ca} \omega_{cobs} \frac{L_{sdc}^2 - L_{mac}^2}{2R_s L_{mac}} \quad (36)$$

[Formel 37]

$$\omega_{ai} = \frac{\omega_{ca}}{5} \quad (37)$$

[0086] Zudem extrahiert der adaptive Schätzer **1106** den Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente mithilfe von in nachstehender Formel (38) gezeigtem e_1 , d.h. einen in obiger Formel (35) umfassten Wert. Der Parameter e_1 aus nachstehender Formel (38) steht für den „adaptiven Schätzfehler 1“.

[Formel 38]

$$e_1 = \left(\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \hat{\psi}_s^{dq} \right)^T \left(\hat{\psi}_s^{dq} - \psi_s^{dq} \right) \quad (38)$$

[0087] Zu beachten ist, dass die Auswahl des adaptiven Gesetzes zum Schätzen der Rotorposition nicht auf das vorstehende Verfahren beschränkt ist, sondern zum Beispiel unter Verwendung nachstehender Referenz **1** bestimmt werden kann.

(Referenz **1**) Ioan D. Landau und Masayoshi Tomizuka, Tekio Seigyo System no Riron to Jissai (englisches Äquivalent, Theory and Practice of Adaptive Control Systems), Ohmsha, Ltd., 1981

[0088] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform schätzt die Rotorposition unter Verwendung eines Schätzfehlers der Flussverkettung in Bezug auf die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, die dem auf θ_r bezogenen Term entspricht, der in obigen Formeln (27) bis (32)

ausgedrückt ist. Diese variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente weist beide Komponenten der beiden entsprechenden Phasen auf, und eine Verwendung dieser variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ermöglicht es somit, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung zu schätzen. Zudem muss die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform keine Gewichtung in Abhängigkeit von der Stromflussrichtung vornehmen. Somit bietet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie mit einer einfacheren Ausführung in der Lage ist, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung einer Rotationsmaschine zu schätzen.

[0089] Ähnlich wie im dem Fall der zweiten Ausführungsform berechnet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform die Flussverkettung und schätzt dann die Flussverkettung in dem rotierenden Bezugssystem, das mit der Rotorposition synchronisiert ist; und bietet somit einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie in der Lage ist, die Rotorposition mit einem geringen Rechenaufwand für die Steuerung genau zu schätzen. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform kann offensichtlich die Rotorposition in dem Zweiphasen-Bezugssystem auf der Basis der obigen Formeln (26) bis (28) schätzen.

[0090] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform berechnet die Rotorposition durch obige Formel (35) unter Verwendung des berechneten Werts und des geschätzten Werts der Flussverkettung. In diesem Zusammenhang kann der geschätzte Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente Ψ_{sac}^{dq} unter Verwendung nachstehender Formel (39) berechnet werden.
[Formel 39]

$$\hat{\Psi}_{sac}^{dq} = \hat{\Psi}_s^{dq} - L_{sdc} i_s^{dq} \quad (39)$$

[0091] Es ist unnötig zu erwähnen, dass die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform die Rotorposition, ähnlich wie in den Fällen der ersten, zweiten und dritten Ausführungsformen, unter Verwendung des durch obige Formel (39) berechneten geschätzten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und unter Verwendung des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente schätzen kann. Ebenso ist es unnötig zu erwähnen, dass die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform, ähnlich wie in dem Fall der dritten Ausführungsform, den Steuerkoordinatenwinkel θ_s , der der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$ folgt, als Winkel für die Verwendung in der Rotationskoordinaten-Transformation durch den Positionsschätzer **11** und die Steuerung **7** verwenden kann, anstatt direkt die geschätzte Rotorposition $\hat{\theta}_r$ zu verwenden.

Fünfte Ausführungsform.

[0092] Fig. 11 ist eine Darstellung, die eine Ausführung einer Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen **100**, **100A**, und **100B** gemäß der ersten, zweiten und dritten Ausführungen schätzen jeweils die Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts und des geschätzten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100C** gemäß der vierten Ausführungsform schätzt die Rotorposition unter Verwendung des adaptiven Beobachters. Eine Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100D** gemäß der fünften Ausführungsform ist dazu eingerichtet, die Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, dem Stromflusswinkel und der Rotorposition zu berechnen. Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100D** umfasst einen Positionsschätzer **12** anstelle des in Fig. 1 gezeigten Positionsschätzers **3**. Der andere Teil der Ausführung ist gleich oder äquivalent zu der Ausführung der ersten Ausführungsform. Das gleiche oder ein äquivalentes Ausführungselement wird mit dem gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet und eine doppelte Beschreibung dessen wird weggelassen.

[0093] Fig. 12 ist eine Darstellung, die eine Ausführung des in Fig. 11 gezeigten Positionsschätzers zeigt. Wie in Fig. 12 dargestellt, umfasst der Positionsschätzer **12** den Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **301**, den Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator **302**, die Dynamische-Komponenten-Berechnungseinheit **303**, einen variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Vektor-Schätzer **1201**, eine Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **1202** und die Rotorposition-Berechnungseinheit **306**. In dem Positionsschätzer **12** arbeiten der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Vektor-Schätzer **1201** und die Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **1202** anders als die entsprechenden Einheiten der ersten Ausführungsform.

[0094] Zunächst ermöglicht die Berechnung der in dem zweiten Term obiger Formel (8) gegebenen variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente unter Verwendung des Strom-Effektivwert-Befehls I_{ph} aus obiger Formel (14) das in nachstehender Formel (40) gezeigte $\Psi_{sac}^{\alpha\beta}$ zu berechnen. $\Psi_{sac}^{\alpha\beta}$ aus nachfolgender Formel (40) steht für die in dem Zweiphasen-Bezugssystem dargestellte variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente.

[Formel 40]

$$\psi_{sac}^{\alpha\beta} = \sqrt{3}L_{mac}I_{ph} \underbrace{\begin{bmatrix} \cos(\theta_r - \varphi_i) \\ \sin(\theta_r - \varphi_i) \end{bmatrix}}_{e_{\psi sac}^{\alpha\beta}} \quad (40)$$

[0095] Obige Formel (40) gibt an, dass die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente mit einer Phase rotiert, die durch Subtraktion des Stromflusswinkels des Rotationsmaschinen-Stroms von der Rotorposition erhalten wird. Zudem wird in der fünften Ausführungsform „ $e_{\psi sac}^{\alpha\beta}$ “ aus obiger Formel (40) als „Vektor der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente“, wobei $e_{\psi sac}^{\alpha\beta}$ ein Vektor in der gleichen Richtung wie die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist.

[0096] Der variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Vektor-Schätzer **1201** berechnet, wie in nachfolgender Formel (41) gezeigt, einen geschätzten Wert des Vektors der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $e_{\psi sac}^{\alpha\beta}$ unter Verwendung des Stromflusswinkel-Befehls φ_i^* und der geschätzten Rotorposition $\hat{\theta}_r$.

[Formel 41]

$$\hat{e}_{\psi sac}^{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} \cos(\hat{\theta}_r - \varphi_i^*) \\ \sin(\hat{\theta}_r - \varphi_i^*) \end{bmatrix} \quad (41)$$

[0097] Die Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit **1202** berechnet den Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}$ und des geschätzten Werts des Vektors der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\hat{e}_{\psi sac}^{\alpha\beta}$. Unter der Annahme, dass der Stromflusswinkel φ_i gleich dem Stromflusswinkel-Befehl φ_i^* ist, kann das Kreuzprodukt des berechneten Werts der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}$ und des geschätzten Werts des Vektors der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\hat{e}_{\psi sac}^{\alpha\beta}$ durch nachfolgende Formel (42) ausgedrückt werden. Zu beachten ist, dass der berechnete Wert der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente $\Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}$ das Ergebnis der Berechnung aus obiger Formel (40) basierend auf obiger Formel (9) unter Verwendung des Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls und des Rotationsmaschinen-Stroms ist.

[Formel 42]

$$\hat{e}_{\psi sac}^{\alpha\beta} \times \Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} = \left| \Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} \right| \sin(\theta_r - \hat{\theta}_r) \quad (42)$$

[0098] Unter der Annahme, dass hier der geschätzte Wert und der tatsächliche Wert der Rotorposition nahezu gleich sind, d.h. $\hat{\theta}_r \approx \theta_r$, kann der Schätzfehler der Rotorposition unter Verwendung nachstehender Formel (43) berechnet werden. Die geschätzte Rotorposition kann aus diesem Schätzfehler der Rotorposition ähnlich wie in dem Fall der ersten Ausführungsform berechnet werden.

[Formel 43]

$$-(\hat{\theta}_r - \theta_r) = \frac{\hat{e}_{\psi sac}^{\alpha\beta} \times \Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta}}{\left| \Psi_{sac,calc}^{\alpha\beta} \right|} \quad (43)$$

[0099] Die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100D** gemäß der fünften Ausführungsform schätzt die Rotorposition unter Verwendung der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und einem Vektor in der gleichen Richtung wie diese, d.h. unter Verwendung obiger Formeln (40) und (41). Zu beachten ist, dass dieser Vektor in die gleiche Richtung, d.h. der Vektor der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten

te, unter Verwendung des Stromflusswinkel-Befehls und der geschätzten Rotorposition berechnet wird. Die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und der oben beschriebene Vektor der variablen Magnetfluss-Induktivitäts-Komponente weisen jeweils beide Komponenten der entsprechenden zwei Phasen auf und daher ermöglicht eine Verwendung der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und des Vektors der variablen Magnetfluss-Induktivitäts-Komponente, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung abzuschätzen. Zudem muss die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100D** gemäß der fünften Ausführungsform keine Gewichtung in Abhängigkeit von der Stromflussrichtung vornehmen. Somit bietet die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung **100D** gemäß der fünften Ausführungsform einen noch nie dagewesenen signifikanten Vorteil, da sie mit einer einfacheren Ausführung in der Lage ist, die Rotorposition unabhängig von der Stromflussrichtung einer Rotationsmaschine abzuschätzen.

[0100] Die Funktionalitäten jeder der Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen **100**, **100A**, **100B**, **100C** und **100D** gemäß der ersten bis fünften Ausführungsformen können in einer Verarbeitungsschaltung implementiert werden. Die Funktionalitäten entsprechen jeweils dem Stromdetektor **2**, dem Spannungs-Applikator **5**, den Positionsschätzern **3**, **6**, **8**, **11** und **12**, den Steuerungen **4**, **7** und **10** und der Winkel-Berechnungseinheit **9**.

[0101] **Fig. 13** ist eine Darstellung, die ein erstes Hardware-Ausführungsbeispiel der elektrischen-Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen gemäß der ersten bis fünften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigt. **Fig. 13** zeigt ein Beispiel, in dem ein dediziertes Hardware-Element, wie z.B. eine dedizierte Verarbeitungsschaltung **13** verwendet wird, um die vorstehende Verarbeitungsschaltung zu implementieren. Wie in **Fig. 13** gezeigt, ist in dem Fall der Verwendung eines dedizierten Hardware-Elements die dedizierte Verarbeitungsschaltung **13** eine einzelne Schaltung, ein Satz mehrerer Schaltungen, ein programmierter Prozessor, ein Satz mehrerer programmierter Prozessoren, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA) oder eine Kombination dessen. Die oben beschriebenen Funktionalitäten können jeweils in einer einzelnen Verarbeitungsschaltung oder kollektiv in einer Verarbeitungsschaltung implementiert werden.

[0102] **Fig. 14** ist eine Darstellung, die ein zweites Hardware-Ausführungsbeispiel der elektrischen-Rotationsmaschinen-Steuervorrichtungen gemäß der ersten bis fünften Ausführungsformen zeigt. **Fig. 14** zeigt ein Beispiel, in dem ein Prozessor **14** und eine Speichervorrichtung **15** zur Implementierung der vorstehenden Verarbeitungsschaltung verwendet werden. Wie in **Fig. 14** gezeigt, ist in dem Fall einer Verwendung des Prozessors **14** und der Speichervorrichtung **15** jede der oben beschriebenen Funktionalitäten in Software, Firmware oder einer Kombination davon implementiert. Die Software oder Firmware ist als ein Programm oder Programme geschrieben und in der Speichervorrichtung **15** abgespeichert. Der Prozessor **14** liest und führt ein in der Speichervorrichtung **15** gespeichertes Programm aus. Man kann auch sagen, dass diese Programme einen Computer veranlassen, eine Prozedur oder ein Verfahren auszuführen, das für jede der oben beschriebenen Funktionalitäten auszuführen ist. Die Speichervorrichtung **15** ist ein Halbleiterspeicher, wie z.B. ein Random Access Memory (RAM), ein Read-Only-Memory (ROM), ein Flash-Speicher, ein Electrically Erasable Programmable Read-Only-Memory (EEPROM) (eingetragene Marke). Der Halbleiterspeicher kann ein nicht-flüchtiger Speicher oder ein flüchtiger Speicher sein. Ebenso kann die Speichervorrichtung **15** kein Halbleiterspeicher, sondern ein Magnetplattenspeicher, eine Diskette [flexible disk], eine optische Datenscheibe [optical disk], eine Compact Disc, eine Mini Disc, oder a Digital Versatile Disc (DVD) sein.

[0103] Zudem kann jede der oben beschriebenen Funktionalitäten teilweise in Hardware und teilweise in Software oder Firmware implementiert sein. Als konkretes Beispiel werden die Funktionalitäten des Stromdetektors **2** und des Spannungs-Applikators **5** durch ein dediziertes Hardware-Element implementiert, während die Funktionalitäten der Positionsschätzer **3**, **6**, **8**, **11** und **12** der Steuerungen **4**, **7** und **10** und der Winkel-Berechnungseinheit **9** durch den Prozessor **14** und die Speichervorrichtung **15** implementiert werden.

[0104] In der ersten bis fünften Ausführungsform wird der Strombefehl für das Drehmoment der Rotationsmaschine so gewählt, dass der Effektivwert, d.h. der Kupferverlust der Rotationsmaschine, minimiert wird, kann aber natürlich auch so gewählt werden, dass die Flussverkettung, d.h. die induzierte Spannung der Rotationsmaschine, reduziert wird, damit die Rotationsmaschine mit einer höheren Geschwindigkeit arbeiten kann, oder andernfalls so gewählt werden, dass der Motorverlust minimiert wird. Zudem wurden in der ersten bis fünften Ausführungsform ein Ausführungsbeispiel beschrieben, in dem der Stromdetektor **2** die durch die Rotationsmaschine fließenden Phasenströme erfasst, aber die durch die Rotationsmaschine fließenden Phasenströme können auch von einem Stromsensor, einem Shunt-Widerstand oder Ähnlichem erfasst werden, der in einem Wechselrichter, der der Spannungs-Applikator **5** ist, eingebunden ist. Um das Verständnis der Beschreibung zu erleichtern, wurden außerdem die erste bis fünfte Ausführungsform so beschrieben, dass die Koordinatentransformation der Spannung und des Stroms der Rotationsmaschine in den Positionsschätzern redun-

dant durchgeführt werden, aber diese Koordinatentransformationsoperationen können unter Verwendung von Funktionen durchgeführt werden, die den Steuerungen und den Positionsschätzern gemein sind.

[0105] Die in den vorstehenden Ausführungsformen beschriebenen Ausführungen sind lediglich Beispiele für verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung. Diese Ausführungen können mit einer bekannten anderen Technologie kombiniert werden und darüber hinaus kann ein Teil dieser Ausführungen weggelassen und/oder modifiziert werden, ohne von dem Geist der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

Bezugszeichenliste

1	Rotationsmaschine;
2	Stromdetektor;
3, 6, 8, 11,12	Positionsschätzer;
4, 7, 10	Steuerung;
5	Spannungs-Applikator;
9	Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit;
13	dedizierte Verarbeitungsschaltung;
14	Prozessor;
15	Speichervorrichtung;
100, 100A, 100B, 100C, 100D	Steu-rungsvorrichtung;
301, 302, 601, 602, 705, 1101, 1102	Dreiphasen-Zweiphasen-Transformator;
303, 304, 604, 802	variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Berechnungseinheit;
305, 606, 1202	Rotorposition-Schätzfehler-Berechnungseinheit;
306, 607, 804	Rotorposition-Berechnungseinheit;
401, 701	Strombefehl-Berechnungseinheit;
402	Dreiphasenstrombefehl-Berechnungseinheit;
403	Dreiphasenstrom-Steuerung;
603	Rotationskoordinaten-Transformator;
706, 801, 1003, 1104	Rotationskoordinaten-Transformator;
605, 803	variabler Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Schätzer;
702	d-q-Strom-Steuerung;
703, 1002	Rotationskoordinaten-Umkehr-Transformator;
704	Zweiphasen-Dreiphasen-Transformator;
1001	Geschwindigkeit-Berechnungseinheit;
1103	Flussverket-tungs-Induktivität-Berechnungseinheit;
1105	adaptiver Beobachter;
1106	adaptiver Schätzer;
1201	variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponenten-Vektor-Schätzer.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 5069306 [0006]
- JP 4644010 [0006]
- JP 3571698 [0006]
- EP 2493067 [0006]

Patentansprüche

1. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung zum Steuern einer Rotationsmaschine, deren Induktivität eine variable Induktivitäts-Komponente umfasst, die sich mit einer Rotorposition ändert, wobei die Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung aufweist:

einen Stromdetektor zum Erfassen eines durch die Rotationsmaschine fließenden Rotationsmaschinen-Stroms;

einen Positionsschätzer zum Schätzen der Rotorposition;

eine Steuerung zum Ausgeben eines Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls zum Antreiben der Rotationsmaschine auf Basis des Rotationsmaschinen-Stroms und der Rotorposition; und

einen Spannungs-Applikator zum Anlegen einer Spannung an die Rotationsmaschine auf Basis des Rotationsmaschinen-Spannungsbefehls, wobei

der Positionsschätzer die Rotorposition aus einer variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente schätzt, die durch die variable Induktivitäts-Komponente und den Rotationsmaschinen-Strom erzeugt wird.

2. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die Induktivität der Rotationsmaschine eine erste Komponente, die sich mit der Rotorposition nicht ändert, und eine zweite Komponente, die sich mit einer doppelt so großen Frequenz wie die Rotorposition ändert, umfasst, und

die variable Induktivitäts-Komponente die zweite Komponente ist.

3. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Positionsschätzer die Rotorposition unter Verwendung eines berechneten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der die aus dem Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl und aus dem Rotationsmaschinen-Strom berechnete variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist, und eines geschätzten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der die aus dem Rotationsmaschinen-Strom, aus der variablen Induktivitäts-Komponente und aus der Rotorposition geschätzte variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist, schätzt.

4. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 3, wobei der Positionsschätzer einen Schätzfehler der Rotorposition aus einem Kreuzprodukt des berechneten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und des geschätzten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente berechnet.

5. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Positionsschätzer die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente in einem rotierenden Bezugssystem, das mit der Rotation der Rotationsmaschine synchronisiert ist, berechnet oder schätzt.

6. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Positionsschätzer die Rotorposition unter Verwendung eines aus dem Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl und dem Rotationsmaschinen-Strom berechneten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, unter Verwendung eines Stromflusswinkels, der eine Winkeldifferenz zwischen dem Rotationsmaschinen-Strom und der Rotorposition ist, und unter Verwendung der Rotorposition schätzt.

7. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 6, wobei der Positionsschätzer aus dem Stromflusswinkel und der Rotorposition einen Vektor der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente schätzt, der ein Vektor in eine gleiche Richtung wie die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente ist, und einen Schätzfehler der Rotorposition aus einem Kreuzprodukt des berechneten Wertes der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente und einem geschätzten Wert des Vektors der variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente, der geschätzt wird, berechnet.

8. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Positionsschätzer die Flussverkettung unter Verwendung eines Beobachters schätzt und die Rotorposition unter Verwendung eines Schätzfehlers der geschätzten variablen Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente schätzt.

9. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 8, wobei der Positionsschätzer die Flussverkettung in einem rotierenden Bezugssystem, das mit der Rotation der Rotationsmaschine synchronisiert ist, berechnet oder schätzt.

10. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 9, wobei der Positionsschätzer die Rotorposition unter Verwendung der nachstehenden Formel (1) einschließlich der in einem rotierenden Bezugssystem dargestellten Flussverkettung und eines geschätzten Wertes der in dem rotierenden Bezugssystem dargestellten Flussverkettung berechnet:

[Formel 1]

$$e_1 = \left(\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \hat{\psi}_s^{dq} \right)^T \left(\hat{\psi}_s^{dq} - \psi_s^{dq} \right) \quad (1)$$

wobei e_1 einen adaptiven Schätzfehler darstellt, ψ_s^{dq} die in einem rotierenden Bezugssystem dargestellte Flussverkettung darstellt und $\hat{\psi}_s^{dq}$ einen geschätzten Wert der im rotierenden Bezugssystem dargestellten Flussverkettung darstellt.

11. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, aufweisend: eine Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit, um zu bewirken, dass ein Steuerkoordinatenwinkel der geschätzten Rotorposition folgt, wobei die Steuerung eine Rotationskoordinatentransformation auf den Rotationsmaschinen-Strom unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels durchführt, um den Rotationsmaschinen-Spannungsbefehl zu berechnen.

12. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 5, 9 oder 11, aufweisend: eine Steuerkoordinatenwinkel-Berechnungseinheit, um zu bewirken, dass ein Steuerkoordinatenwinkel der geschätzten Rotorposition folgt, wobei der Positionsschätzer die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente in dem rotierenden Bezugssystem, das unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels transformiert wird, berechnet und die variable Flussverkettungs-Induktivitäts-Komponente in dem rotierenden Bezugssystem, das unter Verwendung des Steuerkoordinatenwinkels transformiert wird, schätzt.

13. Rotationsmaschinen-Steuervorrichtung gemäß Anspruch 11 oder 12, wobei der Steuerkoordinatenwinkel eine Folgeantwort hat, die langsamer ist als eine Schätzantwort der Rotorposition.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

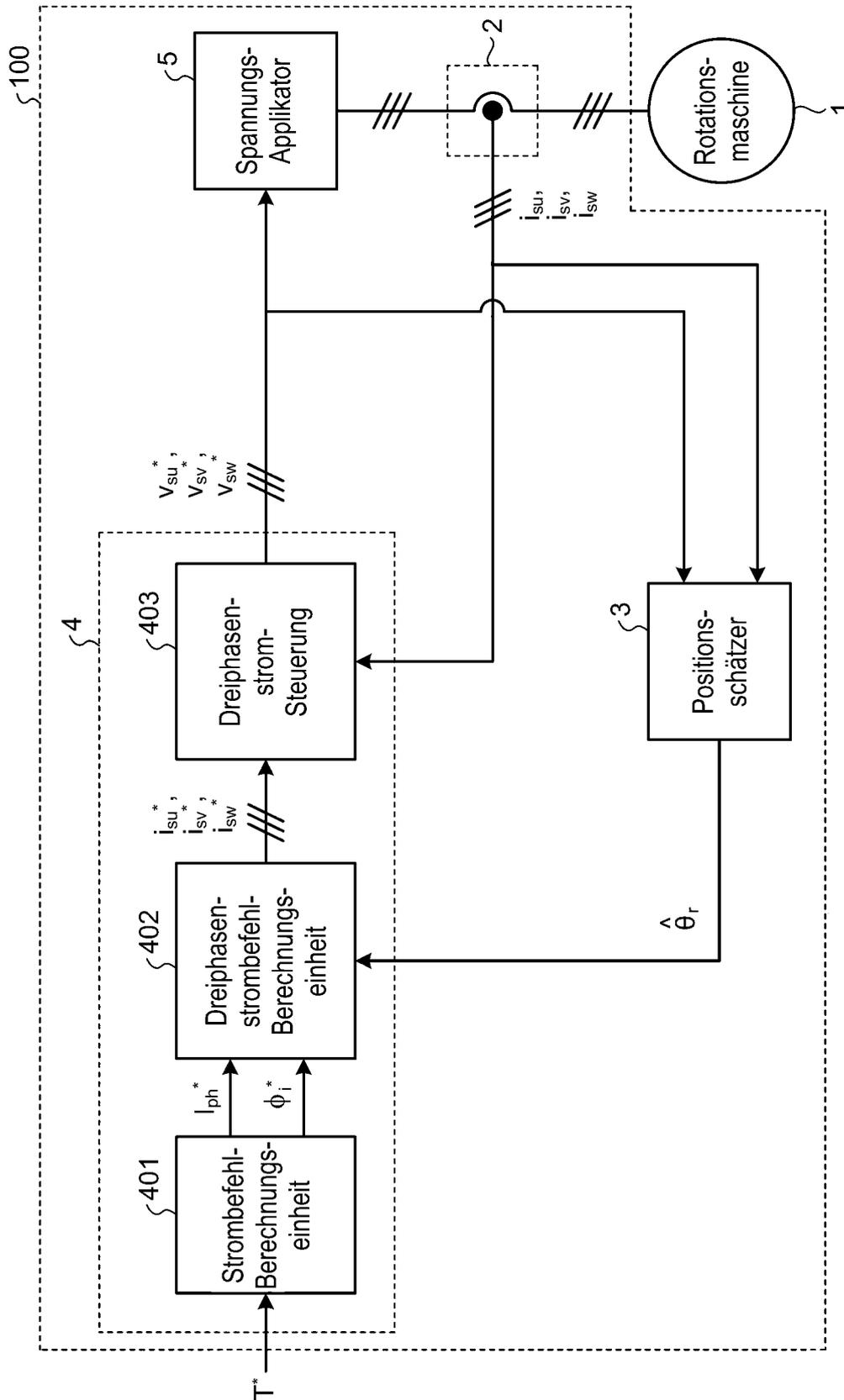


Fig. 1

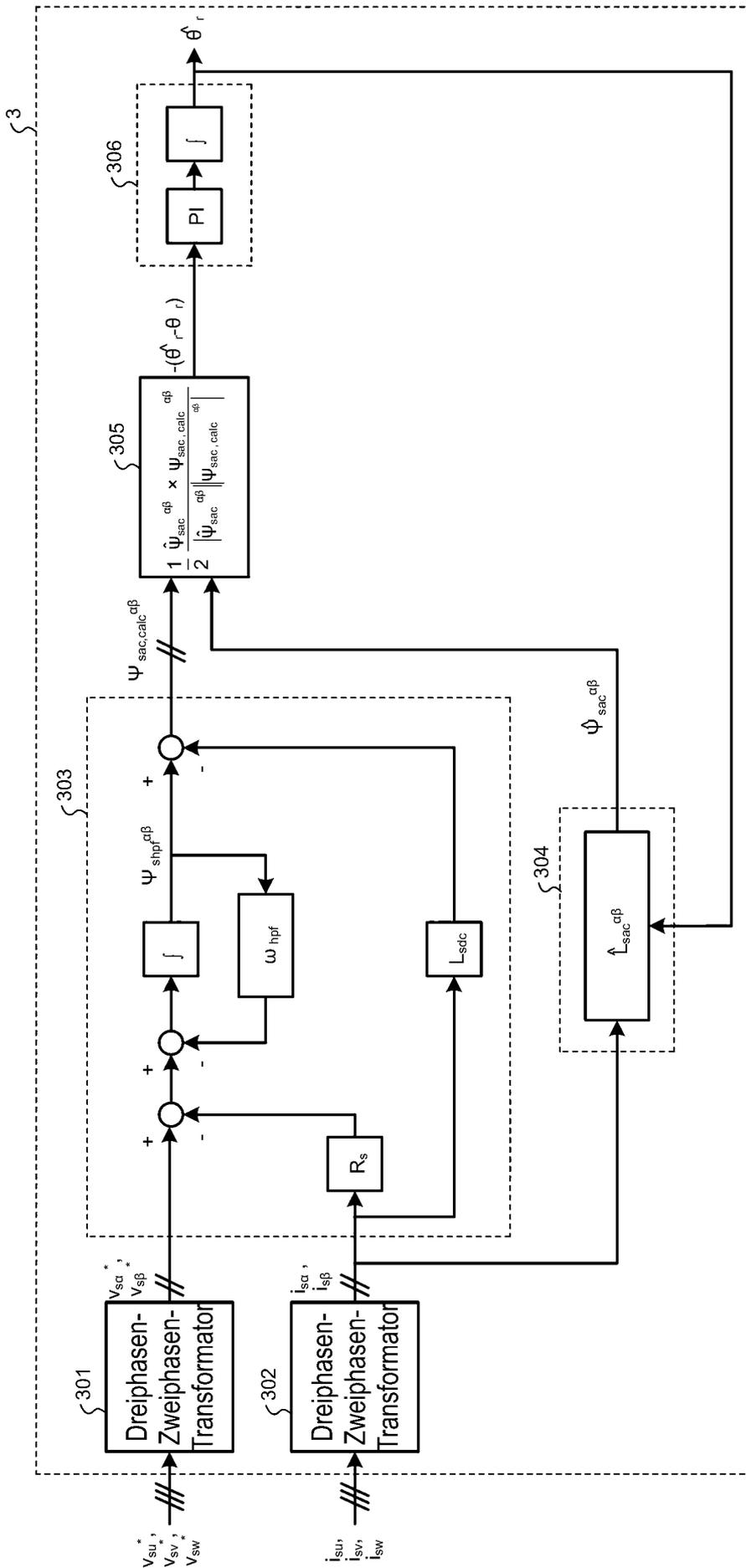


Fig. 2

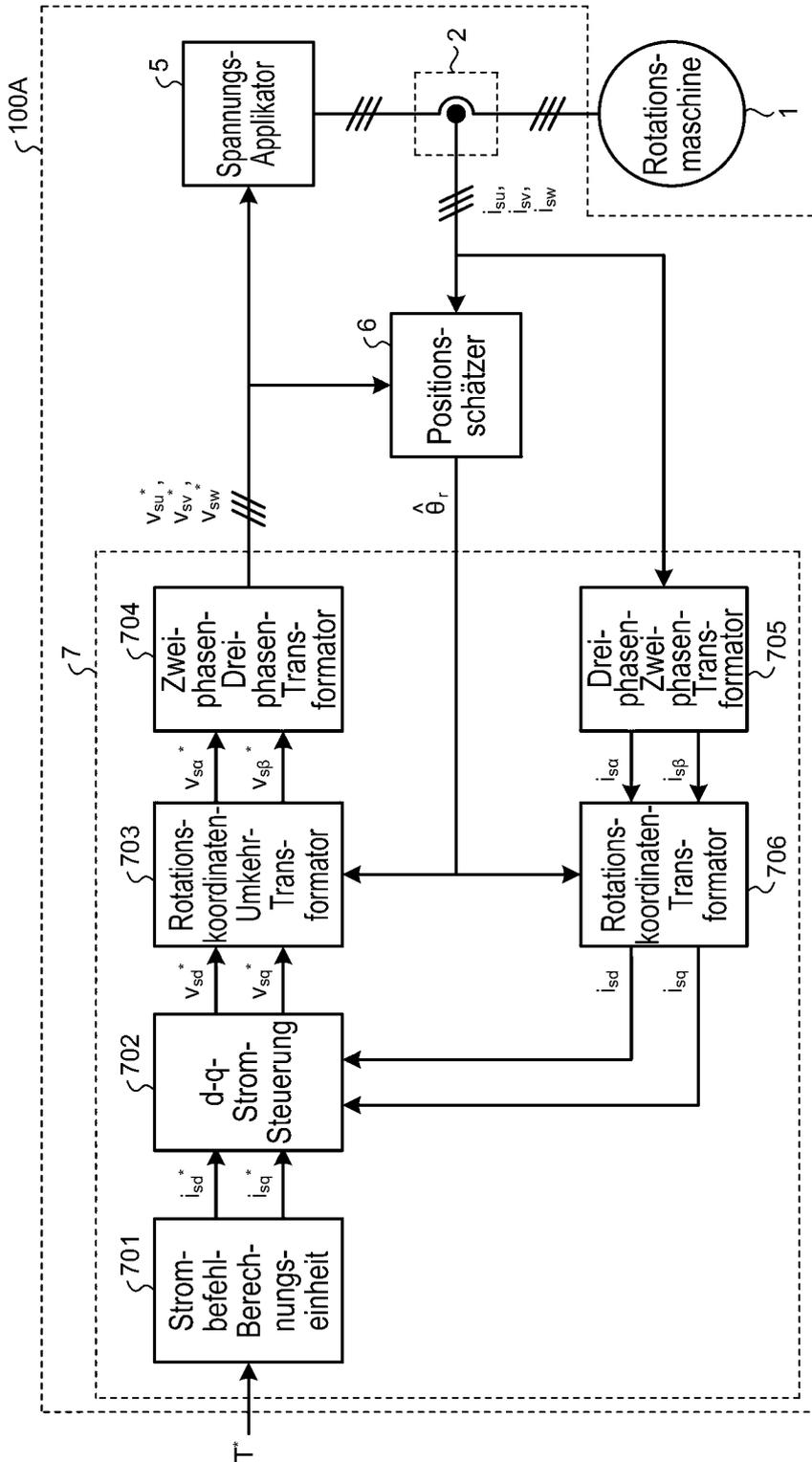


Fig. 3

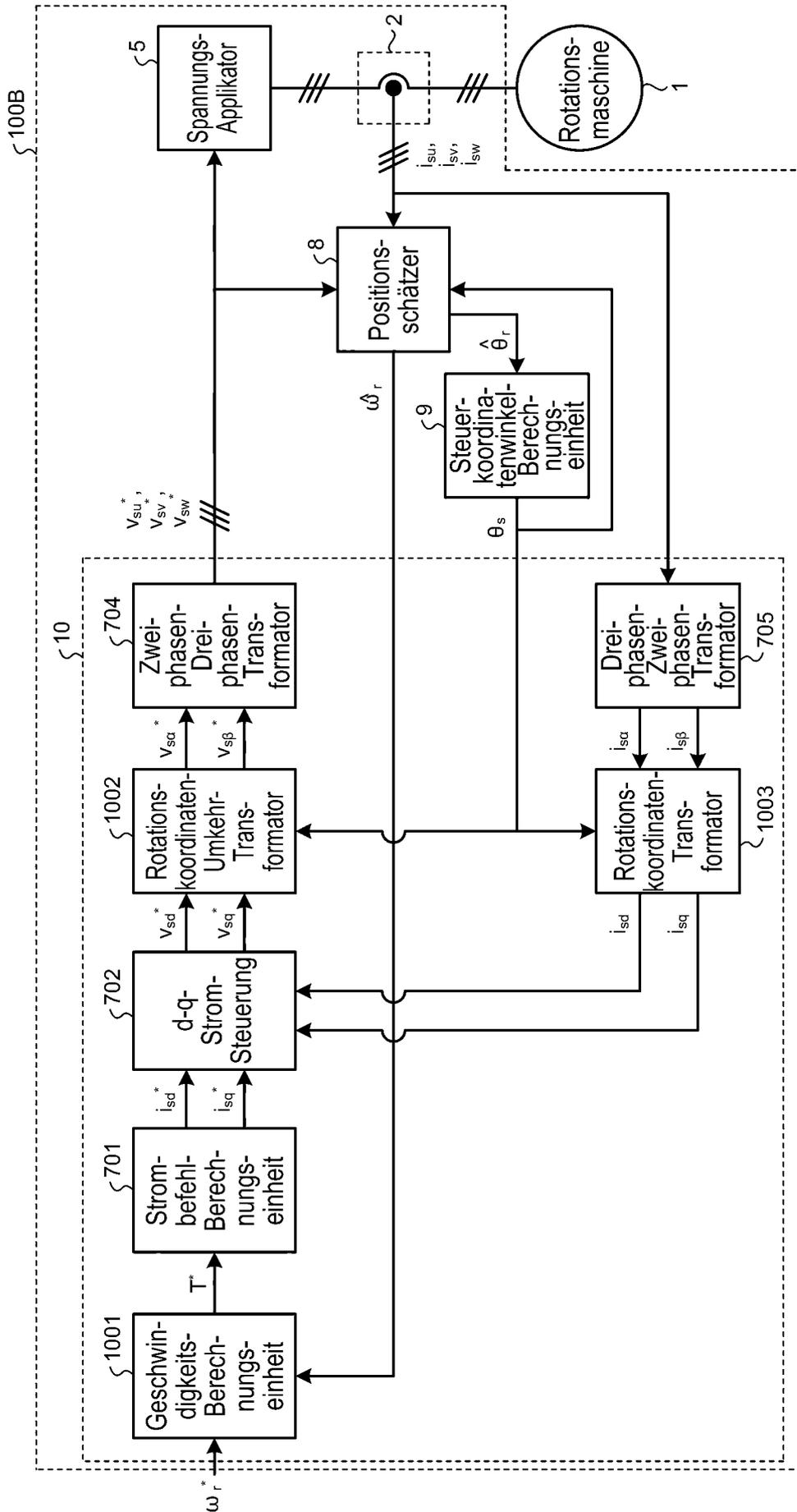


Fig. 5

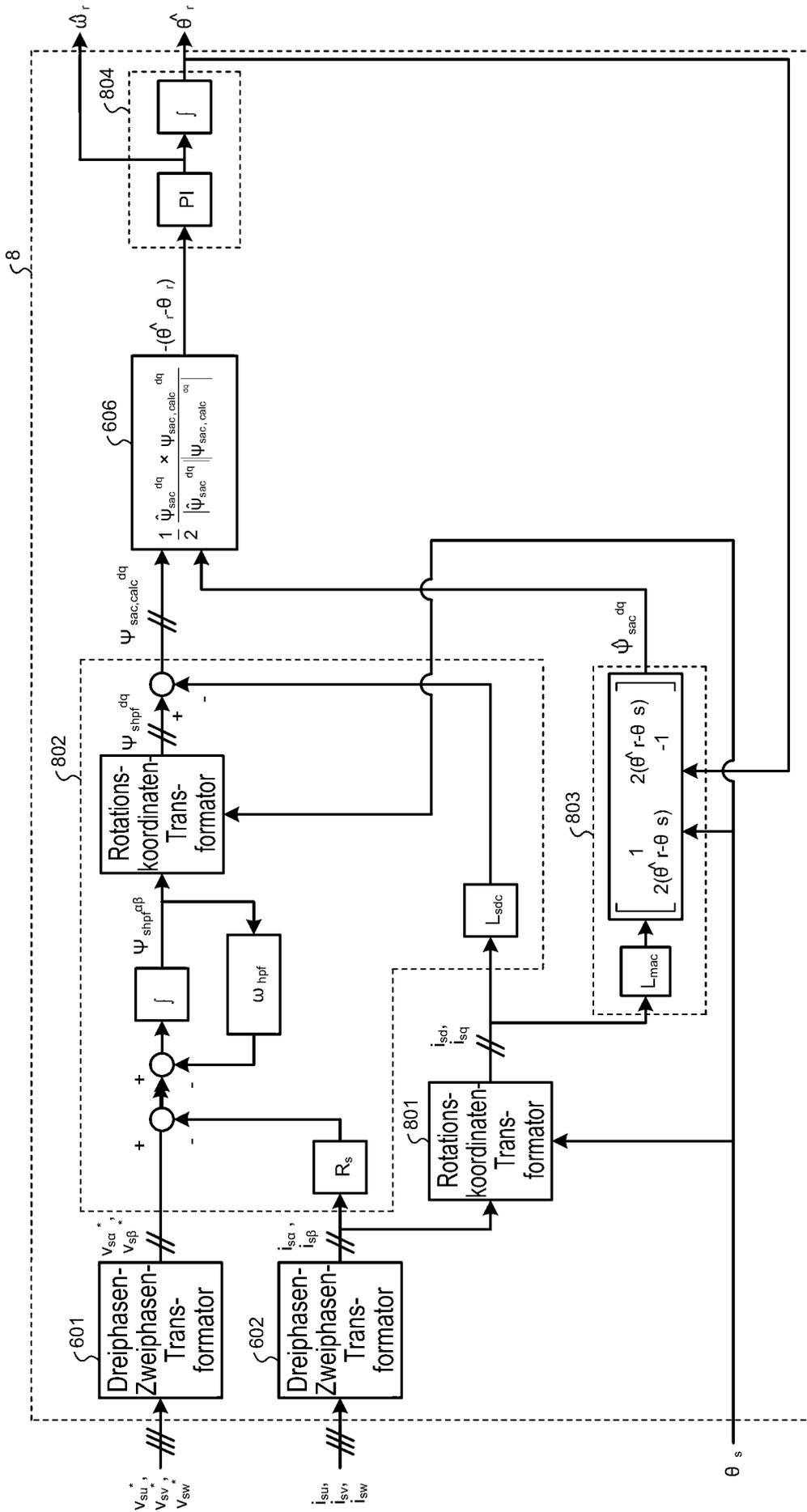


Fig. 6

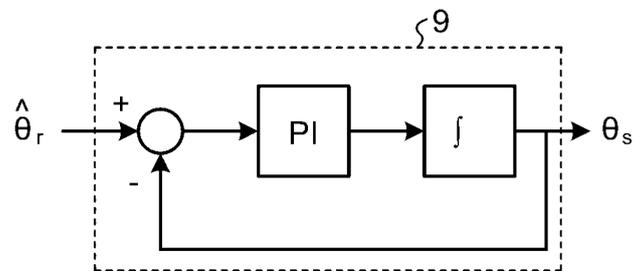


Fig. 7

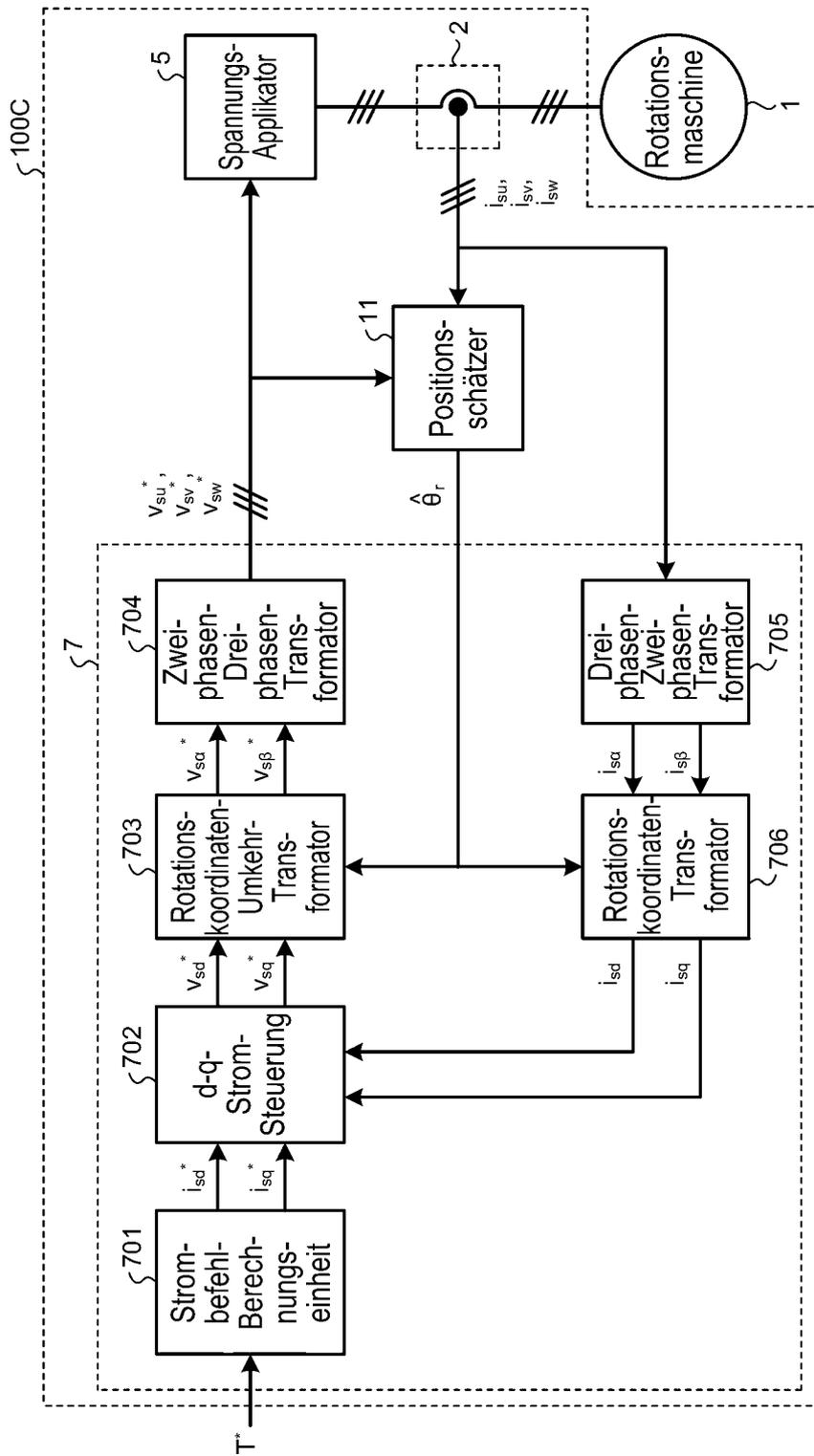


Fig. 8

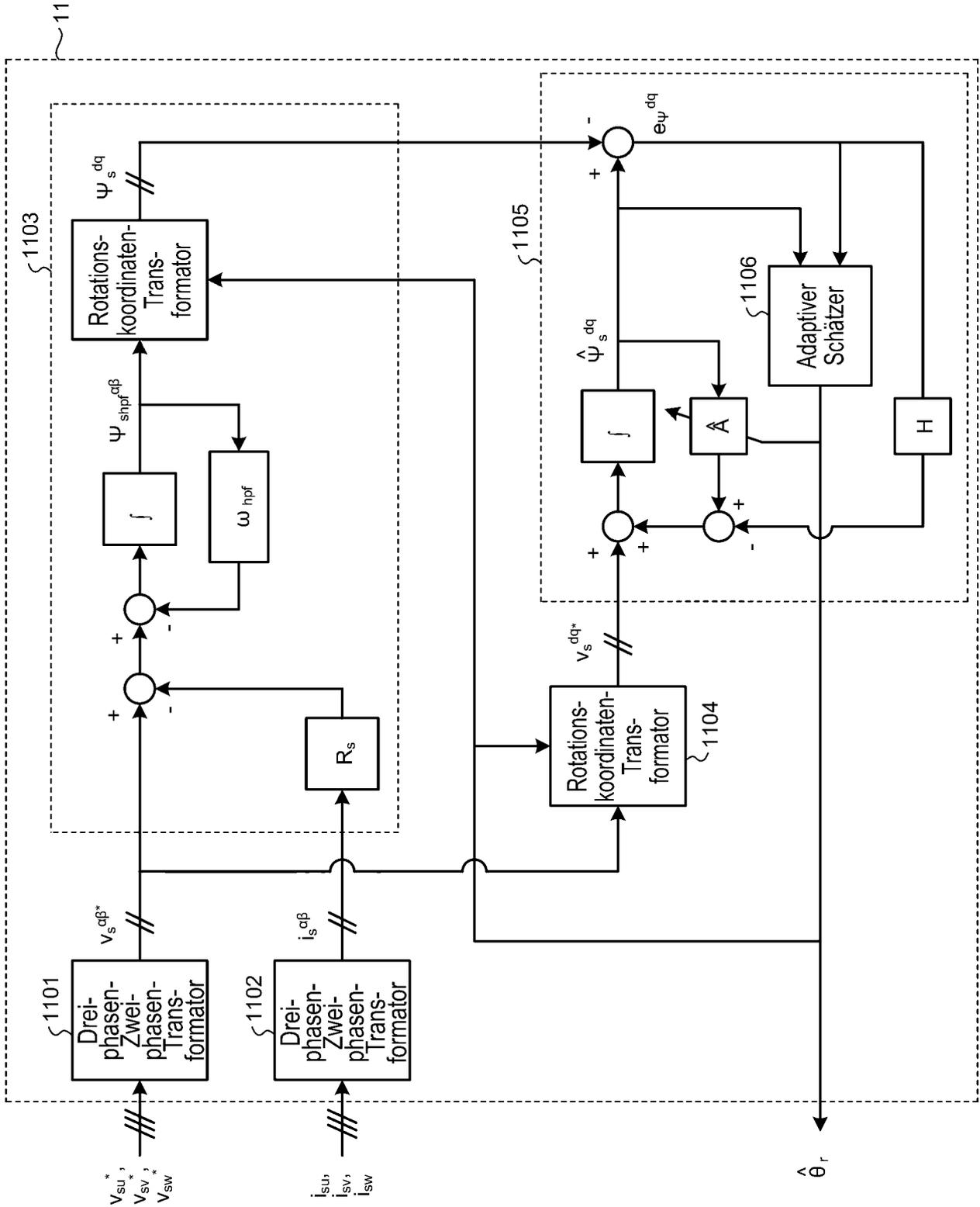


Fig. 9

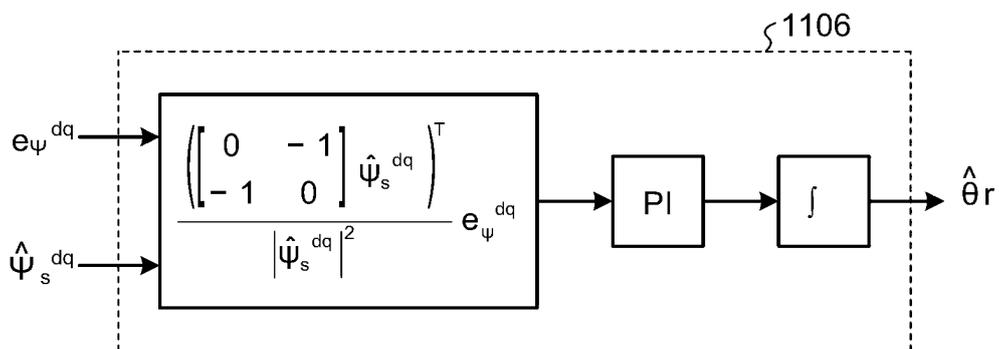


Fig. 10

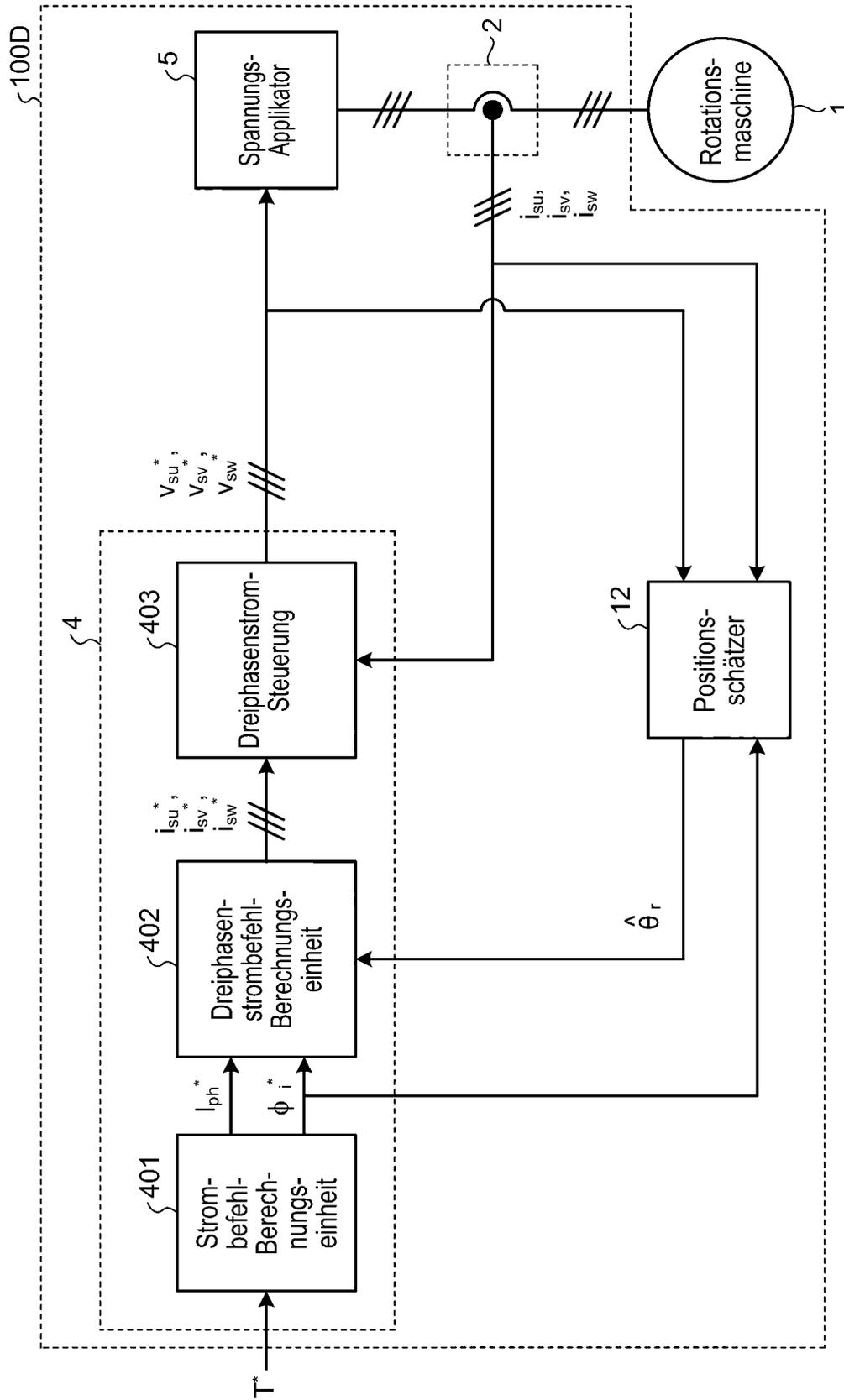


Fig. 11

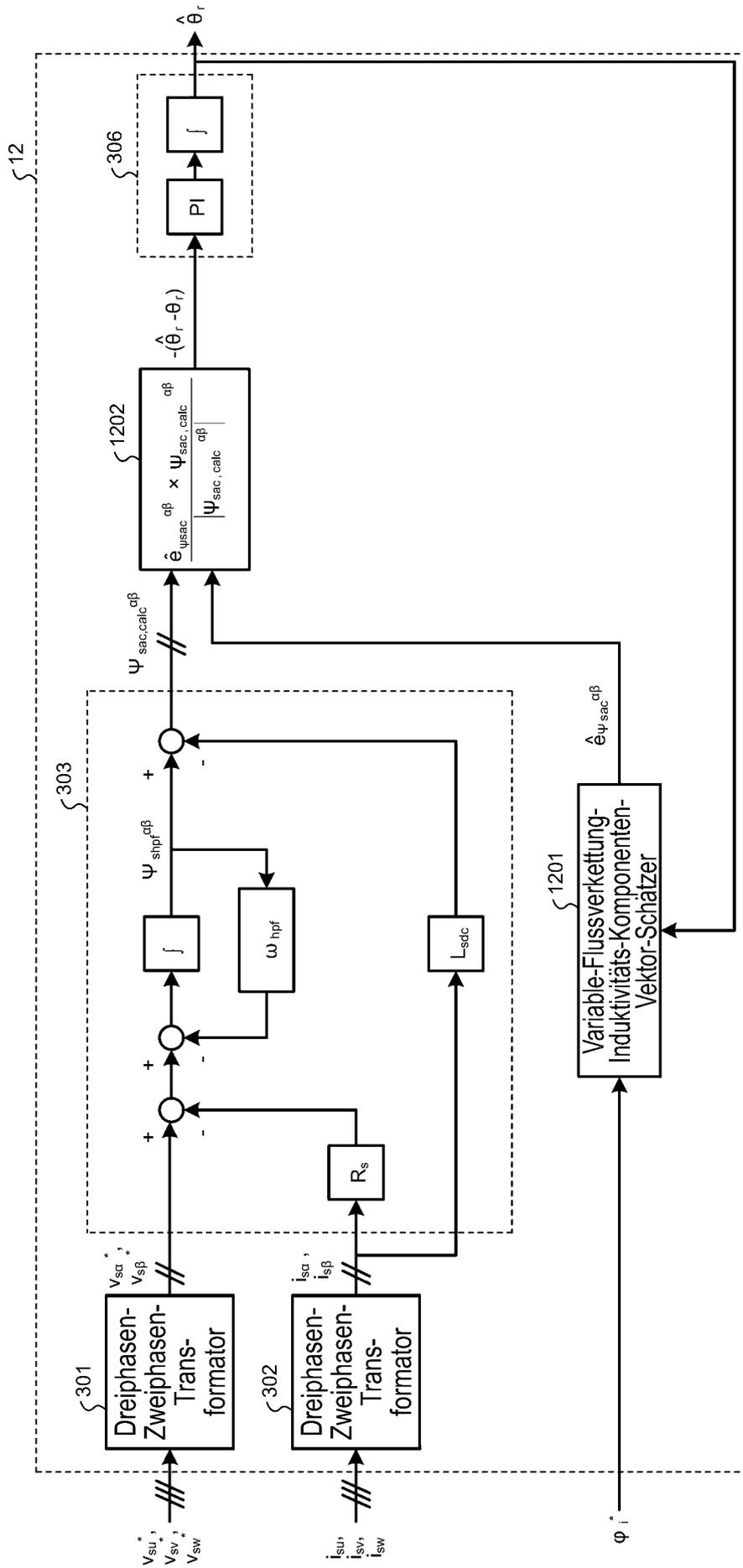


Fig. 12

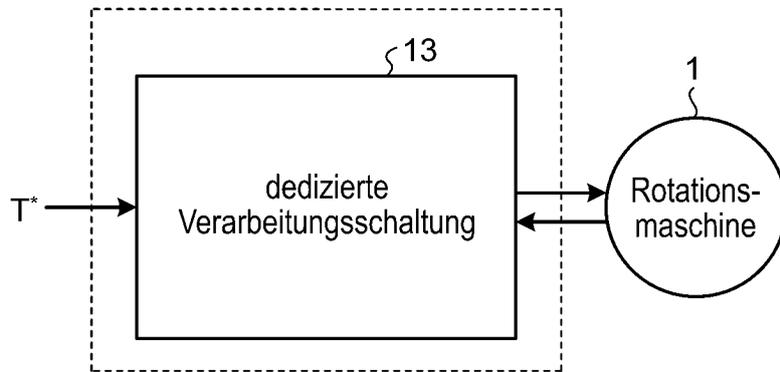


Fig. 13

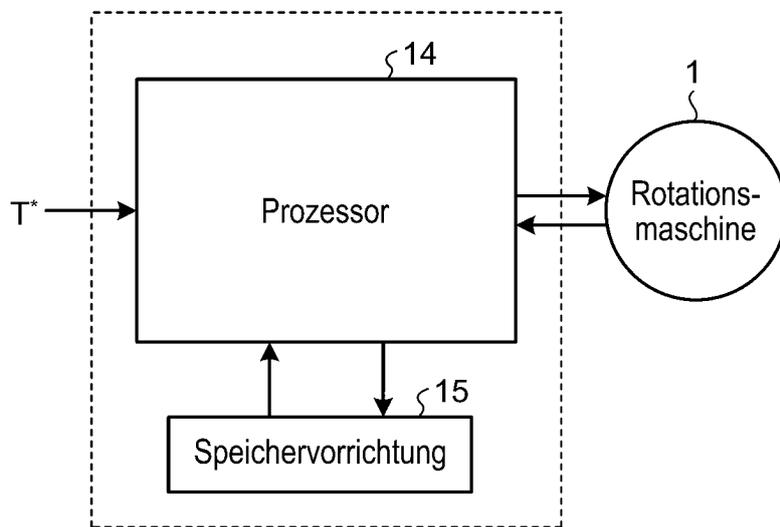


Fig. 14