

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. August 2012 (09.08.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/104372 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2012/051753
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
2. Februar 2012 (02.02.2012)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2011 003 500.1
2. Februar 2011 (02.02.2011) DE
10 2012 201 319.9
31. Januar 2012 (31.01.2012) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** **SCHUSTER, Katharina** [DE/DE]; Ruhrstrasse 28, 71636 Ludwigsburg (DE). **WIRTH, Martin** [DE/DE]; Untere Au 36, 74343 Sachsenheim (DE). **RAICHLER, Daniel** [DE/DE]; Schoenblickstr. 4, 71735 Eberdingen-Nussdorf (DE).

GOETTING, Gunther [DE/DE]; Schuetzenhausweg 39, 70499 Stuttgart (DE).

(74) **Gemeinsamer Vertreter:** **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

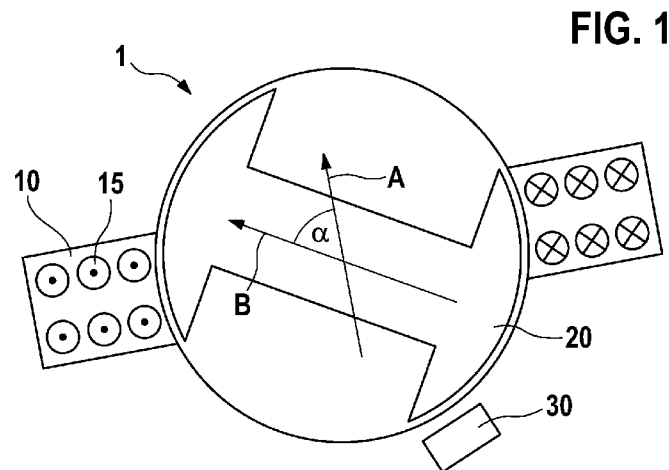
(81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD, DEVICE, AND COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING AN OFFSET ANGLE IN AN ELECTRIC MACHINE

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN, VORRICHTUNG UND COMPUTERPROGRAMM ZUM ERMITTELN EINES OFFSETWINKELS IN EINER ELEKTROMASCHINE



(57) **Abstract:** The invention relates to a method and device for determining or checking the plausibility of an offset angle between an assumed orientation and an actual orientation of a rotor (20) relative to a stator (10) in an electric machine (1). In the method, the electric machine is first controlled in a quasi zero-current state, in which substantially no current should flow in the windings of the electric machine. Then a voltage indicator that specifies the direction of a voltage controlled in the electric machine during the quasi zero-current state is determined and subsequently transformed into a coordinate system that is fixed with respect to the rotor. The offset angle or an angle error with respect to a previously assumed, calibrated offset angle can be determined on the basis of the transformed voltage indicator.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/104372 A2



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln bzw. Plausibilisieren eines Offsetwinkels zwischen einer angenommenen Orientierung und einer tatsächlichen Orientierung eines Rotors (20) zu einem Stator (10) in einer Elektromaschine (1) vorgeschlagen. Bei dem Verfahren wird die Elektromaschine zunächst in einen Quasi-Nullstrom-Zustand angesteuert, in dem in den Wicklungen der Elektromaschine im Wesentlichen kein elektrischer Strom fließen soll. Anschließend wird ein Spannungsanzeiger, der eine Richtung einer in der Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustands angesteuerten Spannung angibt, bestimmt und nachfolgend in ein rotorfestes Koordinatensystem transformiert. Basierend auf dem transformierten Spannungszeiger kann der Offsetwinkel bzw. ein Winkelfehler in Bezug auf einen zuvor angenommenen, kalibrierten Offsetwinkel bestimmt werden.

5 BESCHREIBUNG

Verfahren, Vorrichtung und Computerprogramm zum Ermitteln eines Offsetwinkels in einer Elektromaschine

10 GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Offsetwinkels in einer Elektromaschine. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung und ein Computerprogramm, die zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgelegt sind, sowie ein computerlesbares Speichermedium mit einem darauf
15 gespeicherten entsprechenden Computerprogramm.

STAND DER TECHNIK

20 Elektromaschinen mit hohem Leistungspotential werden beispielsweise in Elektro- und Hybridfahrzeugen eingesetzt. Hierbei kann die elektrische Maschine sowohl in einem Antriebsmodus, indem sie als Motor wirkt, als auch in einem Generatormodus, indem sie während eines Abbremsvorganges kinetische Energie in elektrische Energie umwandelt, betrieben werden. Dabei kann von der Elektromaschine ein Drehmoment
25 auf eine mit der Elektromaschine verbundene Welle, die wiederum beispielsweise mit Rädern des Fahrzeugs verbunden ist, übertragen werden. Das Drehmoment kann dabei je nachdem, ob die Elektromaschine im Antriebsmodus oder im Generatormodus betrieben wird, positive oder negative Werte annehmen.

30 Phasenstarre elektrische Maschinen wie beispielsweise elektrische Synchronmaschinen, bei denen ein Rotor eine gleiche Drehfrequenz aufweist wie ein Stator Drehfeld, erzeugen ein Drehmoment, das stark von einem Winkelversatz zwischen Rotor und Stator Drehfeld abhängt. Ferner gibt es eine Vielzahl von Anwendungen für Elektromaschinen, bei denen eine Winkelstellung einer Antriebswelle

der Elektromaschine mit einem Abtrieb synchronisiert sein muss, das heißt die Winkelstellung genau bekannt sein muss.

5 Um die Winkelstellung, d.h. eine Orientierung des Rotors relativ zu dem Stator der Elektromaschine, erfassen zu können, sind verschiedene Winkelsensorsysteme bekannt. Diese werden in der Regel erst nach einer Fertigstellung der Elektromaschine an dieser montiert, um im nachfolgenden Betrieb der Elektromaschine stets eine Information z.B. über die aktuelle Winkelstellung der Antriebswelle ermitteln zu können. Bei der Montage der Winkelsensoren kann nicht immer sichergestellt werden, dass die
10 Winkelsensoren exakt an gewünschten Positionen, bezogen auf die Geometrie der Elektromaschine, fixiert werden können. Daher kann es vorkommen, dass eine Nulllage eines für eine Elektromaschine vorgesehenen Winkelsensorsystems sich von der tatsächlichen Nulllage der Elektromaschine um einen Winkel α unterscheidet. Dieser Winkel α wird hierin als Offsetwinkel bezeichnet. Dieser Offsetwinkel sollte
15 möglichst genau bekannt sein und bei der Steuerung der Elektromaschine berücksichtigt werden, um z.B. einen gewünschten Drehmomentverlauf realisieren zu können.

Nach dem Zusammenbau der Elektromaschine und des Winkelsensorsystems sollte
20 daher der Offsetwinkel durch ein Kalibrierungsverfahren bestimmt werden. Ein mögliches Kalibrierungsverfahren ist in DE 10 2008 001 408 A1 beschrieben.

Da sich der Offsetwinkel während der Lebensdauer der Elektromaschine beispielsweise aufgrund von starken mechanischen Beanspruchungen ändern kann,
25 sollte er während des Betriebs der Elektromaschine von Zeit zu Zeit überprüft werden.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

Es kann daher ein Bedarf dafür bestehen, einen Offsetwinkel einer Elektromaschine
30 während des Betriebs der Elektromaschine überprüfen zu können bzw. einen zuvor durch Kalibrieren erhaltenen Wert eines Offsetwinkels zu einem späteren Zeitpunkt plausibilisieren zu können.

Einem solchen Bedarf kann durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche entsprochen werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

5 Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Ermitteln eines Offsetwinkels einer Elektromaschine vorgeschlagen. Die Elektromaschine weist dabei einen Stator und einen Rotor auf. Das Verfahren umfasst die folgenden Verfahrensschritte: Ansteuern der Elektromaschine in einen Quasi-Nullstrom-Zustand; Bestimmen eines Spannungszeigers während des Quasi-Nullstrom-Zustands; Transformieren des Spannungszeigers in ein rotorfestes
10 Koordinatensystem; und Bestimmen des Offsetwinkels basierend auf dem transformierten Spannungszeiger.

Mögliche Merkmale und Vorteile des vorgestellten Verfahrens werden nachfolgend
15 detailliert beschrieben.

Zunächst wird die Elektromaschine in einen sogenannten Quasi-Nullstrom-Zustand angesteuert. Dieser Quasi-Nullstrom-Zustand soll derart definiert sein, dass im Wesentlichen kein Strom in den Wicklungen der Elektromaschine fließen soll. Mit
20 anderen Worten kann zum Erreichen des Quasi-Nullstrom-Zustands die Elektromaschine derart angesteuert werden, dass im Wesentlichen kein elektrischer Strom in der Elektromaschine fließt. Dabei können die an den Wicklungen der Elektromaschine angelegten Spannungen derart gewählt werden, dass sie im Wesentlichen der in der Elektromaschine aktuell herrschenden induzierten
25 Polradspannung entsprechen. Anders ausgedrückt sollen die an den Wicklungen der Elektromaschine angelegten Spannungen derart eingestellt werden, dass sich in den Wicklungen weder ein elektrischer Strom einstellt, der die Elektromaschine beschleunigen würde, noch dass aufgrund des sich im Magnetfeld der Elektromaschine drehenden Rotors ein wesentlicher elektrischer Strom in den
30 Wicklungen der Elektromaschine induziert würde.

„Im Wesentlichen kein elektrischer Strom“ kann dabei dahingehend verstanden
werden, dass die in den Wicklungen der Elektromaschine fließenden elektrischen
Ströme klein genug gewählt sind, dass im Wesentlichen kein Drehmoment auf die mit
35 der Elektromaschine verbundene Welle übertragen wird, das heißt ein

Bewegungszustand, der mit der Elektromaschine gekoppelten Welle nicht durch die Elektromaschine verändert wird. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die Elektromaschine bei geringen Drehzahlen, beispielsweise unterhalb der Nenndrehzahl der Elektromaschine, betrieben wird. Beispielsweise kann ein während des Quasi-Nullstrom-Zustand in den Wicklungen fließender Strom kleiner als 5%, vorzugsweise kleiner als 2% des Nennstromes der Elektromaschine sein.

Um das Verfahren zum Ermitteln des Offsetwinkels durchführen zu können, kann hierbei der Quasi-Nullstrom-Zustand durch Ansteuern der Elektromaschine gezielt herbeigeführt werden. Da hierzu jedoch der normale Betrieb der Elektromaschine, das heißt zum Beispiel der von einem Fahrer gewünschte und von der Elektromaschine bewirkte Fahrzustand eines Fahrzeugs, unterbrochen bzw. gestört werden könnte, kann es bevorzugt sein, die Elektromaschine nicht gezielt in einen Quasi-Nullstrom-Zustand zu bringen, um dann das Offsetwinkelermittlungsverfahren durchzuführen, sondern umgekehrt abzuwarten, bis die Elektromaschine aus anderen Gründen in einen Quasi-Nullstrom-Zustand angesteuert wird und dann die Gelegenheit nutzen, um das Offsetwinkelermittlungsverfahren durchzuführen. Beispielsweise kann sich bei einem Elektrofahrzeug eine von dem Fahrer gewünschte Fahrsituation ergeben, bei dem die Elektromaschine in einer vom Fahrer gewollten Weise kein Drehmoment auf die Welle, das heißt keine Kraft auf die Fahrzeugräder, ausüben soll, das heißt, das Fahrzeug frei rollen können soll, ohne von der Elektromaschine mit Kraft beaufschlagt zu werden.

Das vorgestellte Offsetwinkelermittlungsverfahren kann besonders vorteilhaft sein, da die Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustand mechanisch fest mit der Welle gekoppelt sein kann. Mit anderen Worten ist es zur Durchführung des Offsetwinkelermittlungsverfahrens nicht nötig, die Elektromaschine von der Welle abzukoppeln, sondern es genügt, zu überwachen, wann der gewünschte Quasi-Nullstrom-Zustand durch eine entsprechende Ansteuerung der Elektromaschine angesteuert wird.

Nachdem der Quasi-Nullstrom-Zustand angesteuert wurde, wird ein Spannungszeiger, der eine Richtung einer in der Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustands angesteuerten Spannung angibt, bestimmt. Der Spannungszeiger ist dabei eine vektorielle Größe, die ein Maß für die Richtung und die Stärke der

5 Spannungsverteilung an den Wicklungen des Stators der Elektromaschine darstellt. Während des rotierenden Betriebes der Elektromaschine wird dabei der Spannungszeiger synchron mit dem Rotor der Elektromaschine umlaufen.

Um ein solches Umlaufen des Spannungszeigers in einem globalen

10 Koordinatensystem, das heißt in einem Koordinatensystem, das bezogen auf die Elektromaschine fest ist, zu vermeiden, wird der Spannungszeiger anschließend in ein rotorfestes Koordinatensystem transformiert. Das rotorfeste Koordinatensystem ist dabei ein Koordinatensystem, das in Bezug auf den rotierenden Rotor der Elektromaschine fest ist, das heißt, das mit dem Rotor mit rotiert. Indem der

15 Spannungszeiger in ein solches rotorfestes Koordinatensystem transformiert wird, kann erreicht werden, dass der Spannungszeiger in einem stationären Zustand der Elektromaschine ebenfalls stationär ist, das heißt sowohl einen konstanten Absolutwert als auch eine konstante Orientierung aufweist. Somit kann nachfolgend ein derart transformierter, zeitlich konstanter Spannungszeiger wesentlich einfacher zur Ableitung

20 weiterer Informationen über den Zustand der Elektromaschine verwendet werden, als dies bei einem zeitlich variierenden, umlaufenden Spannungszeiger der Fall wäre. Das Transformieren des Spannungszeigers kann mit gebräuchlichen mathematischen Methoden durchgeführt werden.

Der Spannungszeiger kann insbesondere derart in das rotorfeste Koordinatensystem transformiert werden, dass dem Spannungszeiger in einem stationären Zustand eine Komponente d und eine Komponente q zuzuordnen sind. Mit anderen Worten soll der transformierte Spannungszeiger in zwei Komponenten zerlegt werden können, bei denen eine Komponente d den vektoriellen Anteil des Spannungszeigers angibt, der in

30 Richtung des elektrischen Flusses zeigt, und eine Komponente q den vektoriellen Anteil angibt, der senkrecht dazu ist.

Abschließend kann der Offsetwinkel basierend auf dem transformierten Spannungszeiger bestimmt werden. Hierbei kann ermittelt werden, ob der

35 transformierte Spannungszeiger, der sich bei Ansteuern der Elektromaschine in einem

Quasi-Nullstrom-Zustand tatsächlich ergibt, mit einem gewünschten
Spannungsanzeiger bzw. einem Spannungsanzeiger, der aufgrund des zuvor durch
eine Kalibrierung erhaltenen Wissens über den Offsetwinkel eingestellt wurde,
übereinstimmt. Für den Fall, dass der basierend auf einer vorhergehenden Kalibrierung
angenommene Offsetwinkel nicht mit dem nun tatsächlich bestimmten Offsetwinkel
5 übereinstimmt, kann aus der Differenz des angenommenen und des tatsächlich
bestimmten Offsetwinkels ein Winkelfehler ermittelt werden. Dieser Winkelfehler kann
bei einem nachfolgenden Ansteuern der Elektromaschine berücksichtigt werden, das
heißt der Offsetwinkel, der von einer Steuerung der Elektromaschine zur Ansteuerung
10 der Elektromaschine verwendet wird, kann um den Winkelfehler korrigiert werden.

Der Offsetwinkel kann insbesondere aus der Komponente d bzw. der Komponente q
des transformierten Spannungszeigers berechnet werden. Insbesondere kann ein
Winkelfehler des Offsetwinkels aus der Komponente q und der Komponente d durch
15 Bilden eines Arkustangens-Wertes berechnet werden.

Der ermittelte Winkelfehler des Offsetwinkels kann zur nachträglichen Plausibilisierung
des Offsetwinkels herangezogen werden. Je kleiner der ermittelte Winkelfehler ist,
desto weniger weicht der von der Steuerung der Elektromaschine angenommene, zu
20 einem früheren Zeitpunkt durch Kalibrierung erhaltene Offsetwinkel von dem
tatsächlich in der Elektromaschine und dem damit gekoppelten Winkelsensorsystem
herrschenden Offsetwinkel ab. Sollte der ermittelte Winkelfehler einen vorgegebenen
Grenzwert überschreiten, können geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel eine
Korrektur des in der Maschinensteuerung hinterlegten Offsetwinkels, vorgenommen
25 werden, um eine Schädigung der Elektromaschine oder einen suboptimale
Drehmomentsteuerung zu vermeiden.

Das oben beschriebene Verfahren zum Ermitteln des Offsetwinkels kann
beispielsweise von einer Vorrichtung durchgeführt werden, die dazu ausgelegt ist, die
30 Elektromaschine zu steuern. Hierzu kann ein Computerprogramm vorgesehen sein,
das als Software ein entsprechendes Steuergerät dazu veranlassen kann, die oben
beschriebenen Verfahrensschritte durchzuführen. Ein entsprechendes
computerlesbares Speichermedium, wie zum Beispiel ein programmierbarer Mikrochip,
zum Beispiel ein EEPROM, oder eine CD oder DVD kann ein entsprechendes darauf
35 gespeichertes Computerprogramm enthalten, so dass das Computerprogramm

eventuell auch nachträglich in ein programmierbares Steuergerät implementiert werden kann.

Die zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens ausgelegte Vorrichtung sollte in der Lage sein, zu erkennen, wenn eine Elektromaschine in einen Quasi-Nullstrom-Zustand angesteuert wird, und dann einen Spannungszeiger zu ermitteln und in ein rotorfestes Koordinatensystem zu transformieren, um nachfolgend einen Offsetwinkel der Elektromaschine basierend auf dem transformierten Spannungszeiger berechnen zu können.

Das oben beschriebene Verfahren bzw. die oben beschriebene Vorrichtung kann besonders vorteilhaft in Elektrofahrzeugen bzw. Hybridfahrzeugen, die von einer elektrischen Synchronmaschine angetrieben werden, verwendet werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung hierin teilweise in Bezug auf das vorgeschlagene Verfahren zum Ermitteln eines Offsetwinkels und teilweise in Bezug auf eine Vorrichtung zum Durchführen eines solchen Verfahrens beschrieben sind. In für einen Fachmann erkennbarer Weise können die Merkmale jedoch in beliebiger Weise miteinander kombiniert bzw. ausgetauscht werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend in nicht einschränkend auszulegender Weise mit Bezug auf die beiliegenden Figuren beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Elektromaschine.

Fig. 2 zeigt einen Spannungsanzeiger in einem rotorfesten Koordinatensystem.

Fig. 3 zeigt ein Elektrofahrzeug mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Ermitteln eines Offsetwinkels einer Elektromaschine.

Die Figuren sind lediglich grob schematisch und nicht maßstabsgetreu.

AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist eine Elektromaschine 1 mit einem Stator 10, der mehrere Statorwicklungen 15 aufweist, und einem Rotor 20 dargestellt. Ein durch die Statorwicklungen 15 fließender elektrischer Strom tritt in einem links dargestellten Wicklungsabschnitt aus der Zeichenebene heraus und tritt in einen rechts dargestellten Wicklungsabschnitt in der Zeichenebene ein. Ein hierdurch erzeugtes magnetisches Feld hat die Richtung des Pfeils A. Aus Gründen der Klarheit ist nur eine einzelne Statorwicklung 15 dargestellt, wobei üblicherweise Statorwicklungen entlang des gesamten Umfangs des Stators gleichmäßig angeordnet sind. Der Rotor 20 ist beispielsweise mittels Permanentmagneten oder Rotorwicklungen (nicht dargestellt) erregt und weist ein Magnetfeld auf, das in Längsrichtung des Rotors orientiert ist, wie durch den Pfeil B dargestellt. Eine Kraft zwischen dem Stator 10 und dem Rotor 20 ist proportional zu $\sin(\alpha)$, wobei α dem Winkel zwischen dem von dem Stator 10 erzeugten magnetischen Feld A und dem von dem Rotor 20 erzeugten magnetischen Feld B entspricht.

Eine aktuelle Orientierung des Rotors 20 bzw. des von ihm erzeugten Magnetfeldes B kann mit Hilfe eines Winkelsensorsystems 30 ermittelt werden. Da die tatsächliche Montageposition des Winkelsensorsystems 30 innerhalb der Elektromaschine 1 von einer gewünschten Montageposition abweichen kann, kann sich auch der von dem Winkelsensorsystem 30 ermittelte Orientierungswinkel, der von dem Winkelsensorsystem 30 beispielsweise an eine Steuerung der Elektromaschine 1 weitergegeben wird, von dem tatsächlichen Orientierungswinkel des Rotors unterscheiden. Dieser Winkelunterschied wird als Offsetwinkel bezeichnet und kann nach einem Zusammenbau der Elektromaschine 1 mit dem Winkelsensorsystem 30 erstmals durch Kalibrieren bestimmt werden.

Während des nachfolgenden Betriebes der Elektromaschine 1 wird die Elektromaschine 1 jeweils mit Hilfe einer Steuerung derart angesteuert, dass sich eine Stärke und Orientierung der von dem Stator 10 und dem Rotor 20 erzeugten Magnetfelder A, B zueinander derart einstellen, dass gewünschte Drehmomente von der Elektromaschine 1 erzeugt werden. Zur Steuerung der Elektromaschine 1 werden hierbei die von dem Winkelsensorsystem 30 bereitgestellten Informationen über den aktuellen Orientierungswinkel des Rotors 20 unter Berücksichtigung des Offsetwinkels herangezogen.

Um den Offsetwinkel zu einem späteren Zeitpunkt zu ermitteln bzw. den bisher angenommenen Offsetwinkel zu plausibilisieren, wird abgewartet, bis die Steuerung versucht, die Elektromaschine in einen Quasi-Nullstrom-Zustand zu versetzen. Die Steuerung wird hierzu die Spannungen, die an den Wicklungen der Elektromaschine angelegt werden, derart einstellen, dass sie gerade der aktuell herrschenden Polradspannung in der Elektromaschine entsprechen, so dass im Wesentlichen keine elektrischen Ströme in den Wicklungen fließen sollten.

Um zu überprüfen, ob der von der Steuerung angewiesene Quasi-Nullstrom-Zustand tatsächlich erreicht wird, das heißt, ob der von der Steuerung angenommene Offsetwinkel noch dem tatsächlich in der Elektromaschine herrschenden Offsetwinkel entspricht, wird ein Spannungsanzeiger in ein rotorfestes Koordinatensystem 40 transformiert, wie in Fig. 2 dargestellt. In einem solchen rotorfesten Koordinatensystem 40 lässt sich der Spannungsanzeiger als Vektor X darstellen. Das Koordinatensystem 40 gibt auf seiner Abszisse eine Komponente d und auf seiner Ordinate eine Komponente q des Spannungszeigers X an. Sofern der von der Steuerung angenommene Offsetwinkel korrekt ist, sollte der Spannungszeiger X entlang der Ordinate ausgerichtet sein, das heißt nur eine Komponente q aufweisen. Ist der angenommene Offset jedoch mit einem Winkelfehler behaftet, resultiert bei der Transformation des Spannungszeigers in das rotorfeste Koordinatensystem 40 auch eine Komponente d. Der Winkel γ , welcher sich aus der Abweichung des Winkels β des Spannungszeigers X innerhalb des Koordinatensystems 40 von 90° ergibt (also $\gamma = 90^\circ - \beta$), entspricht dann dem Winkelfehler und kann durch eine Arkustangensfunktion mit einem oder zwei Argumenten, d.h. $\arctan(z)$ oder $\arctan2(y, x)$, berechnet werden, beispielsweise $\gamma = \arctan d/q$. Dies ermöglicht die Plausibilisierung und Korrektur des kalibrierten bzw. des vom Winkelsensorsystem gelieferten Offsetwinkels.

Fig. 3 zeigt schematisch ein Elektrofahrzeug 50, bei dem eine Elektromaschine 1 von einer Steuerungsvorrichtung 60 gesteuert wird, um ein gewünschtes Drehmoment zu erzeugen und über eine Welle 70 an Räder 80 des Fahrzeugs zu übertragen. Die Steuerungsvorrichtung 60 kann hierbei softwaregesteuert sein und durch ein entsprechendes Computerprogramm dazu instruiert werden, das oben beschriebene Verfahren zum Ermitteln eines Offsetwinkels bei Bedarf bzw. zu einer passenden

Gelegenheit durchzuführen.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Ermitteln eines Offsetwinkels in einer Elektromaschine (1) mit einem Stator (10) und einem Rotor (20), wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:
- 10 Ansteuern der Elektromaschine in einen Quasi-Nullstrom-Zustand derart, dass im Wesentlichen kein Strom in den Wicklungen der Elektromaschine fließt;
- 15 Bestimmen eines Spannungszeigers (X), der eine Richtung einer in der Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustands angesteuerten Spannung angibt;
- 20 Transformieren des Spannungszeigers in ein rotorfestes Koordinatensystem (40);
- Bestimmen des Offsetwinkels basierend auf dem transformierten Spannungszeiger.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Spannungszeiger derart in das rotorfeste Koordinatensystem transformiert wird, dass dem Spannungszeiger in einem stationären Zustand eine Komponente d und eine Komponente q zuzuordnen sind, wobei der Offsetwinkel aus mindestens einer der Komponente d und der Komponente q berechnet wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei ein Winkelfehler (γ) des Offsetwinkels aus der Komponente d und der Komponente q durch Bilden eines Arkustangenswertes berechnet wird.
- 35 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustands derart angesteuert wird, dass von der Elektromaschine im Wesentlichen kein Drehmoment auf eine mit der Elektromaschine verbundene Welle (70) übertragen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Elektromaschine während des Quasi-Nullstrom-Zustands mechanisch fest mit der Welle gekoppelt ist.
- 5 6. Vorrichtung (60) zum Ermitteln eines Offsetwinkels in einer Elektromaschine (1) mit einem Stator (10) und einem Rotor (20), wobei die Vorrichtung dazu ausgelegt ist, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 auszuführen.
- 10 7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Vorrichtung dazu ausgelegt ist, zu erkennen, wenn die Elektromaschine in einen Quasi-Nullstrom-Zustand derart angesteuert wird, dass im Wesentlichen kein Strom in den Wicklungen der Elektromaschine fließt, und die ferner dazu ausgelegt ist, einen
15 Spannungszeiger zu ermitteln, den Spannungszeiger in ein rotorfestes Koordinatensystem zu transformieren und einen Offsetwinkel der Elektromaschine basierend auf dem transformierten Spannungszeiger zu berechnen.
- 20 8. Elektrofahrzeug (50) mit einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 6 oder 7.
9. Computerprogramm, das dazu ausgelegt ist, bei dessen Ausführung auf einem Computer einen Offsetwinkel einer Elektromaschine gemäß einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 zu ermitteln.
- 25 10. Computerlesbares Speichermedium mit darauf gespeichertem Computerprogramm gemäß Anspruch 9.

1 / 1

FIG. 1

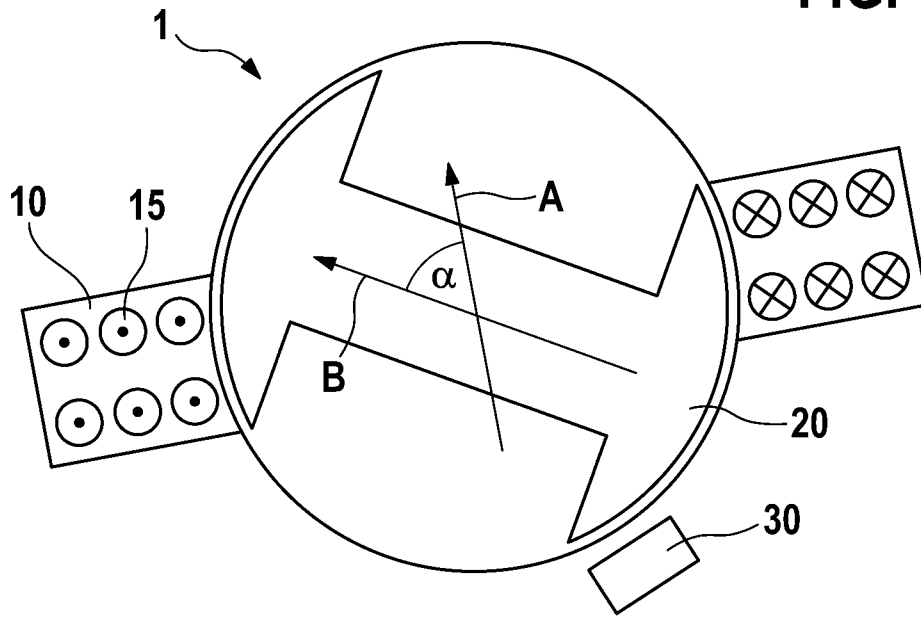


FIG. 2

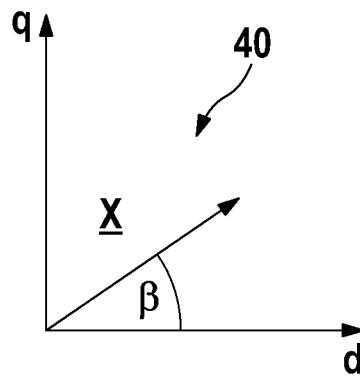


FIG. 3

