

(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
1. April 2010 (01.04.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/034568 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 6/18 (2006.01) *H02P 1/46* (2006.01)
H02P 6/20 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/060589
- (22) Internationales Anmeldedatum:
17. August 2009 (17.08.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2008 042 360.2
25. September 2008 (25.09.2008) 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): **VOLLMER, Ulrich** [DE/DE]; Schulstr. 42, 73266 Bissingen (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, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DETERMINATION OF THE ROTOR ANGLE OF A SYNCHRONOUS MACHINE AT REST USING ITERATIVE TEST PULSES

(54) Bezeichnung : BESTIMMUNG DES ROTORWINKELS EINER SYNCHRONMASCHINE IM STILLSTAND MIT HILFE VON ITERATIVEN TESTPULSEN

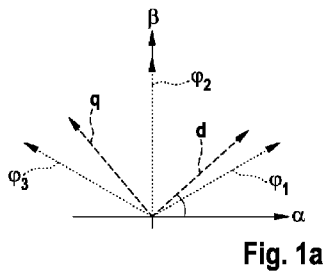


Fig. 1a

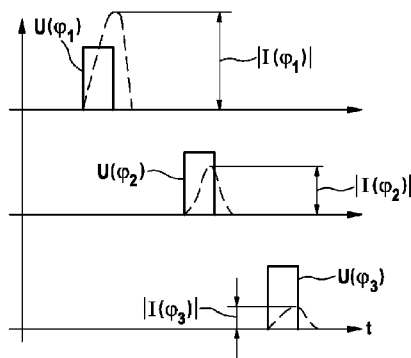


Fig. 1b

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the angular position of a synchronous machine having a magnetically anisotropic rotor, having an (m) iteration step and an (n) iteration step. The (m) iteration step comprises: generating an (m) magnetic field having an (m) angular direction and an intensity changing over time by applying an (m) voltage pulse to the synchronous machine, and detecting an (m) peak value of the current pulse generated by the (m) voltage pulse; and providing at least two further (m+i) peak values generated in different (m+i) angular directions by magnetic fields, said directions differing from the (m) angular direction. The (n) iteration step following the (m) iteration step comprises: determining the angular directions in which the two largest or the two smallest peak values from a peak value group occur, as the (n+1) angular direction and the (n+2) angular direction, wherein the peak value group comprises the (m) peak value and the further (m+i) peak values; and providing an (n) angular direction positioned between the (n+1) angular direction and the (n+2) angular direction, as the angular direction output. As an alternative, the (n) iteration step provides the following: an (n) angular direction positioned between the (n+1) angular direction and the (n+2) angular direction, as the (n) angular direction, in which an (n) magnetic field is generated at an intensity changing over time by applying an (n) voltage pulse to the synchronous machine. In this manner, an (n) peak value of the current pulse generated by the (n) voltage pulse is detected. An iteration method may comprise any arbitrary number of iteration steps. The invention further relates to a device for the active and iterative actuation of a synchronous machine in order to detect the angular position thereof.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/034568 A1



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

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Winkellage einer Synchronmaschine mit magnetisch anisotropen Rotor, mit einer (m)-Iterationsstufe und einer (n)-Iterationsstufe. Die (m)-Iterationsstufe umfasst: Erzeugen eines (m)-Magnetfelds einer (m)- Winkelrichtung mit einer sich zeitlich ändernden Stärke durch Anlegen eines (m)-Spannungspulses an die Synchronmaschine und Erfassen eines (m)-Spitzenwerts des durch den (m)-Spannungspuls erzeugten Strompuls; und Vorsehen von mindestens zwei weiteren (m+i)-Spitzenwerten, welche durch Magnetfelder in unterschiedlichen (m+i)- Winkelrichtungen erzeugt werden, die sich von der (m)-Winkelrichtung unterscheiden. Die (n)-Iterationsstufe, welche auf die (m)-Iterationsstufe folgt, umfasst: Ermitteln der Winkelrichtungen, in denen die beiden größten oder die beiden kleinsten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe auftreten, als (n+1)-Winkelrichtung und (n+2)- Winkelrichtung, wobei die Spitzenwertgruppe den (m)-Spitzenwert sowie die weiteren (m+i)-Spitzenwerte umfasst; und Vorsehen einer (n)-Winkelrichtung, die zwischen der (n+1)-Winkelrichtung und der (n+2)-Winkelrichtung liegt, als Winkellage-Ausgabe. Alternativ sieht die (n)- Iterationsstufe vor: eine (n)- Winkelrichtung, die zwischen der (n+1)-Winkelrichtung und der (n+2)-Winkelrichtung liegt, als (n)-Winkelrichtung, in der ein (n)-Magnetfeld mit einer sich zeitlich ändernden Stärke durch Anlegen eines (n)-Spannungspulses an die Synchronmaschine erzeugt wird. Hierdurch wird ein (n)-Spitzenwert des durch den (n)-Spannungspuls erzeugten Strompuls erfasst. Ein Iterationsverfahren kann eine beliebige Anzahl von Iterationsschritten umfassen. Ferner betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zum aktiven und iterativen Ansteuern einer Synchronmaschine, um deren Winkelstellung zu erfassen.

5 Beschreibung

Titel

Bestimmung des Rotorwinkels einer Synchronmaschine im Stillstand mit Hilfe von iterativen Testpulsen

10

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von Winkelerfassungsmechanismen für Elektromotoren und insbesondere für Synchronmaschinen.

15

Elektrische Motoren werden für eine Vielzahl von Anwendungen gebraucht, wobei abhängig von der Anwendung die Rotorstellung und nicht nur die Drehzahl selbst relevant ist. Insbesondere beim Anschalten von elektrischen Maschinen ist die Erfassung der Stellung des Rotors relevant, da die Rotorlage relativ zum Statormagnetfeld unmittelbaren und starken Einfluss auf den Betrag und das Vorzeichen des erzeugten Drehmoments hat. Insbesondere bei Synchronmaschinen, in denen zwischen Rotor und Starter im Wesentlichen keine Drehzahldifferenz („Schlupf“) vorgesehen ist, ist die korrekte Winkelerfassung der Rotorlage für den Betrieb relevant. Unter Umständen kann eine Abweichung von nur wenigen Grad einen sehr starken Unterschied hinsichtlich des Drehmoments hervorrufen. In Synchronmaschinen wird ein umlaufendes Magnetfeld durch eine Vielzahl von zueinander versetzten Statorwicklungen erzeugt, wobei der Rotor eine fest eingeprägte Magnetisierungsrichtung aufweist. Grundsätzlich kann das Magnetfeld des Rotors durch einen Permanentmagneten, durch einer Erregerwicklung oder durch eine Kombination hiervon erzeugt werden.

20

25

30

Es ist bekannt, zur Winkelerfassung separate Sensoren zu verwenden, beispielsweise induktive oder optische Sensoren. Zudem erfordert der Einsatz von separaten Sensoren zusätzlichen Bauraum, zusätzliche Kosten, eigene Zuleitungen, zusätzliche Herstellungsschritte und weiteres. Ferner bergen zusätzliche Komponenten grundsätzlich immer die Gefahr, dass diese zusätzliche Fehlerquellen vorsehen.

35

Daher sind Verfahren und Vorrichtungen bekannt, die die Rotorlage eines Motors mittels der Wicklungen und des Rotors erfassen, ohne dass zusätzliche Sensoren notwendig sind.

Die Druckschrift DE 10 2006 004 166 bestimmt ein Verfahren zur Bestimmung der Rotorlage eines elektronisch kommutierten Motors, wobei die verschiedenen Sättigungsgrenzen des Rotors, die in verschiedenen Rotorrichtungen vorliegen, zur Erfassung der Rotorposition verwendet werden. Hierzu werden Anstiegszeiten bis zu bestimmten Grenzwerten erfasst, aus denen sich die Sättigung des Rotoranteils erfassen lässt, der von dem Magnetfeld erfasst wird, das von einer zu der Richtung zugehörigen Statorwicklung erzeugt wird. Aus der Steigung der Strangströme des Stators wird die Lage des Rotors erfasst, da der Rotor eine winkelabhängige Sättigung aufweist. Zum einen ist das Verfahren aufwändig, da die Winkellage auf der Kombination einer Vielzahl von verschiedenen Anstiegszeiten beruht, die die jeweilige Sättigung wiedergeben, und zum anderen, da die Auflösung durch den Winkelversatz zweier verschiedener Statorwicklungen definiert ist, das heißt beispielsweise 60° . Somit sieht diese Druckschrift nur eine Zuordnung zu bestimmten Winkelsektoren vor, jedoch keine präzisere Winkelerfassung.

Die Druckschrift AT 397727 B beschreibt ein Verfahren, das mittels Spannungspulsen den Rotorwinkel bestimmt. Hierbei werden Induktivitäten, die sich durch Stromimpulse und zugehörigen induzierten Spannungen ergeben, einem sinusförmigen Verlauf der Induktivität entlang des Umfangs zugeordnet, um aus den ermittelten Induktivitätswerten und deren Ableitungen die aktuelle Position innerhalb des sinusförmigen Verlaufs zu ermitteln. Dies erfordert eine aufwändige Interpolation zur Zuordnung der Messwerte zu dem angenommenen sinusförmigen Induktionsverlauf und stellt somit hohe Anforderungen an eine Messdatenverarbeitungseinheit, die die Spannungs- und Stromimpulse auf den sinusförmigen Verlauf interpoliert. Ferner ergeben sich in der Position Ungenauigkeiten an Stellen, an denen sich die Induktivität nur gering mit dem Winkel ändert, das heißt beispielsweise bei $\pm 90^\circ$.

Die oben genannten Verfahren zur Absolutwinkelerfassung bei stehenden Elektromotoren sind daher zum einen mit zusätzlichen Komponenten verbunden, oder sehen eine aufwändige Berechnung vor, die gleichzeitig mit einer geringen Genauigkeit und einem hohen Fehleranteil auf Grund externer Störfelder beaufschlagt sind. Insbesondere interpolationsbasierte Winkelerfassungen erfordern einen erheblichen Aufwand an komplexen Berechnungen, wobei die Interpolation auch bei geringen Messfehlern zu substantiellen Winkelfehlern führt.

Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, einen Mechanismus zum präzisen Erfassen der absoluten Winkellage für Elektromotoren vorzusehen, der sich mit geringem Aufwand an elektrischen Komponenten und mit einfachen Auswertungsmechanismen realisieren lässt.

Offenbarung der Erfindung

Die Erfindung erlaubt eine präzise absolute Winkelbestimmung für elektrische Maschinen, insbesondere für Synchronmaschinen ohne zusätzliche Komponenten, und mit einer besonders vereinfachten Berechnungsweise. Das Verfahren lässt sich mit kostengünstigen Bauteilen umsetzen, da es nur eine geringe Rechenleistung benötigt, erreicht eine hohe Präzision, wird auf Grund einer Vielzahl von Messungen nur schwach von äußeren Störmagnetfeldern beeinflusst und ermöglicht eine nahezu beliebig genaue Auflösung der Winkelposition. Sowohl Aufbereitung der Messverfahren als auch die Erzeugung und Zuleitung der Messimpulse kann mit bereits bestehenden Vorrichtungen, die mit der elektrischen Maschine verbunden sind, vorgesehen werden. Die Erfindung erlaubt somit das genaue Erfassen der Winkelposition des Rotors im Stillstand, wodurch beim Anfahren bereits nach einer kurzen Messperiode das maximal mögliche Drehmoment erreicht werden kann. Das Verfahren erfordert geringe Kosten, einen geringen Bauraum und weist eine hohe Robustheit auf. In einer bevorzugten Ausführungsform erlaubt die Erfindung auch die eindeutige Erfassung der Winkellage bezüglich einer vollen 360° -Umdrehung ohne Zweideutigkeit in der 180° -Ausrichtung. Insbesondere erfordert das Verfahren keine aufwändige Interpolation oder Interpretation der Messwerte, sondern kann ausschließlich mit einfachen Vergleichsvorgängen und grundlegenden Rechenoperation vorgesehen werden. Insbesondere kann die Erfindung mittels Vergleichen und Vorrichtungen, die einen Winkelmittelwert bilden, ausgeführt werden, beispielsweise als auf einem Prozessor ablaufende Software. Ferner kann die Erfindung mittels einer festverdrahteten Schaltung mit einem Vergleichler, einem Addierer und einer Vorrichtung zum Halbieren eines Werts umgesetzt werden.

Die Erfindung basiert auf der Erfassung der Induktivität in verschiedenen Winkelrichtungen, die nicht nur durch die Ausrichtung einer Statorwicklung vorgegeben sind, sondern durch gezieltes Abfragen der Induktivität in einer beliebigen Winkelposition, wobei durch geeignete Kombination mindestens zweier Statorwicklungen eine beliebige Winkelposition abgefragt werden kann. Die Erfindung sieht vor, die richtungsbezogene Induktivität der Kombination aus Rotor und auf diese wirkende Statorwicklung(en) zu erfassen, wobei der Rotor in Umlaufrichtung anisotrop ist. Mit anderen Worten weist der Rotor entlang einer ersten Achse ein erstes magnetisches Verhalten auf, das sich von dem magnetischen Verhalten entlang einer zweiten, dazu verschiedenen Achse unterscheidet. (Beide Achsen sind senkrecht zur Rotationsachse des Rotors und schneiden diese). Diese Achsen können beispielsweise die d-Achse und die q-Achse sein, wobei die Erfindung jedoch nicht auf zweipolige Rotoren beschränkt ist. Vielmehr kann der Rotor grundsätzlich eine beliebige Anzahl an Magnetpolpaaren aufweisen. Die abgefragte Eigenschaft des Rotors ist die Induktivität, beziehungsweise der Fluss, der innerhalb des Rotorkernmaterials durch das anliegende äußere Magnetfeld (erzeugt durch den Stator) hervorgerufen wird. Prinzipiell wird ein äußeres Magnetfeld (durch den Stator) mit einer bestimmten Winkelrichtung angelegt, d.h. durch einen definierten Spannungsimpuls auf die Statorwicklung(en), und der daraus resultierende

(dazu verzögerte) Strom wird erfasst, der sich gemäß: $u(t) = L \cdot (di/dt)$ verhält. Das Verhältnis dieser beiden Größen entspricht der Induktivität, die wiederum von der magnetischen Permeabilität bzw. von der magnetischen Suszeptibilität des Rotors(-materials) in dieser Richtung abhängt. Die effektive magnetische Permeabilität des Rotors in Abhängigkeit von dem Winkel ergibt sich durch das Material des Rotors, insbesondere durch Kombination
5 verschiedener Materialien verschiedener magnetischer Permeabilität und insbesondere die Ausformung des Rotors, die nicht rotationssymmetrisch ist.

Ferner spielt die in der betreffenden Winkelrichtung vorherrschenden Sättigung eine Rolle, wobei die magnetische Permeabilität mit zunehmender Sättigung abnimmt. Mit anderen
10 Worten erzeugt ein zusätzliches Magnetfeld nur eine geringe Zunahme an magnetischem Fluss im Material, wenn das Material bereits einer starken Vormagnetisierung ausgesetzt ist. Beispielsweise kann die Vormagnetisierung durch eine Erregerspule (oder durch einen Permanentmagneten oder einer Kombination hiervon) des Rotors vorgesehen werden, wobei
15 die zusätzliche Magnetfeldkomponente von außen durch den Stator vorgegeben wird, die sich entweder, abhängig von der Ausrichtung, zu der Vormagnetisierung hinzuaddiert, oder diese verringert. Verringert das von außen angelegte Magnetfeld den Fluss innerhalb des Materials, so ergibt sich eine höhere Induktivität als in entgegengesetzter Richtung, wenn das äußere Magnetfeld sich zu dem Rotormagnetfeld (welches die Vormagnetisierung angeht)
20 hinzuaddiert. Durch Aussenden eines Magnetisierungsimpulses durch den Rotor in zwei entgegengesetzte Richtungen kann somit die Halbraumausrichtung des Rotors (oder im allgemeinen Nord-Südausrichtung eines Polpaars einer beliebigen Zahl von Polpaaren) exakt erfasst werden.

Erfindungsgemäß werden mehrere Magnetisierungsimpulse durch den Rotor in verschiedenen Winkelrichtungen abgegeben, und der (stehende) Rotor wird magnetisiert. Durch die Pulsform ergibt sich in dem Stator eine induzierte Spannung, aus der sich die effektive relative Permeabilität oder eine andere magnetisch anisotrope Größe des Rotors erfassen lässt. Die erfassten Spannungen werden miteinander verglichen und es wird die kleinste bzw. zweitkleinste oder die größte bzw. zweitgrößte Spannung und die zugehörigen beiden Winkel
30 ermittelt. Je nach Rotorart (permanent erregt oder mit Erregerwicklung) entspricht entweder der Winkel des Minimums aller Minima der Ausrichtung der d-Achse (bei permanenterregten Maschinen), oder das Maximum aller Maxima entspricht der Ausrichtung der d-Achse der elektrischen Maschine (bei Maschinen mit Erregerwicklung). Einfache Vergleichsoperationen ergeben die Winkelrichtungen der zwei maximalen oder minimalen (im Weiteren extremen) Winkelausrichtungen, wobei die Erfindung vorsieht, innerhalb der Winkelspanne, die durch die zwei Winkelrichtungen definiert ist, eine Induktivitätsmessung durchzuführen. Mit anderen Worten wird ein (Zwischen)-Winkel vorgesehen, der zwischen der stärksten Extremstelle (kleinstes Minimum oder größtes Maximum) und der zweit-

stärksten Extremstelle (zweitkleinstes Minimum oder zweitgrößtes Maximum) liegt, und es wird vom Rotor ein Magnetfeldpuls erzeugt, der in Richtung dieses Winkels verläuft. Der sich ergebende Wert wird wiederum mit den bereits vorhandenen Werten (oder mit Werten, die zusammen mit diesem Wert erfasst wurden) verglichen, und es ergibt sich eine schmalere Winkelspanne zwischen den nun vorliegenden beiden stärksten Extrema.

Diese Winkelspanne kann nun wieder geteilt werden, um wieder zwischen zwei verschiedenen Winkelspannenunterteilungen unterscheiden zu können, von denen die Winkelspannenunterteilung ausgewählt wird, die von den jeweils beiden stärksten Extrema begrenzt wird. Eine Winkelspanne wird unterteilt, indem ein weiterer Winkel, der zwischen den beiden Winkelspannenenden liegt, vorgesehen wird, beispielsweise als arithmetisches Mittel, und die sich ergebenden beiden Winkelspannenunterteilungen (linke Hälfte und rechte Hälfte) können miteinander verglichen werden, indem beispielsweise die Summe oder im Allgemeinen eine Kombination des Spannungsbetrags der beiden Winkel als Maß herangezogen wird, die den beiden Grenzen der Winkelspannenunterteilung entsprechen. Grundsätzlich wird eine Winkelspanne bzw. ein Winkelsektor in mindestens zwei Unterteilungen eingeteilt, und die Messung oder der Vergleich wird für beide Hälften wiederholt, um den größeren oder den kleineren der beiden Winkelsektoren zu erfassen. Gemäß einer Ausführung wird nur eine Messung entlang des Winkels durchgeführt, der zwischen den beiden Grenzwinkeln des entsprechenden Winkelsektors liegt, und zum Vergleich werden die Messergebnisse der beiden Grenzwinkel von früheren Messungen herangezogen. Alternativ kann nach dem Unterteilen eines durch Grenzwinkel festgelegten Winkelsektors die Messung auch an den beiden Grenzwinkeln wiederholt werden, so dass Messungen an den beiden Grenzwinkeln und entlang des Zwischenwinkels im gleichen Durchgang durchgeführt werden, vorzugsweise direkt nacheinander bzw. innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne.

Die Messung wird durchgeführt, indem ein einzelner Spannungspuls in die Statorwicklungen abgegeben wird, so dass der Spannungsimpuls in den Statorwicklungen einen Stromfluss erzeugt, der zu einem Magnetfeld entlang einer vorbestimmten Richtung führt. Um den Winkel genau zu definieren, wird entweder eine einzelne spezifische Statorwicklung angesteuert, oder, um Winkel zu erreichen, die zwischen zwei verschiedenen Statorwicklungen liegt, können diese beiden Wicklungen (oder mehrere Wicklungen) mit Spannungspulsen beaufschlagt werden, die in Kombination zu einer Magnetfeldrichtung führen, die dem gewünschten Winkel entspricht. Vorzugsweise ist die Fläche des Spannungspulses im Zeitdiagramm, die Verlaufsform des Spannungspulses und der Betrag des Spannungspulses für alle Messungen gleich. Im Falle von Spannungspulsen, die auf mehrere Wicklungen verteilt werden, um so einen Zwischenwinkel zu erreichen, entspricht vorzugsweise das sich addierende Magnetfeld hinsichtlich Betrag, Verlauf und Fläche des Zeitverlaufs einem Magnetfeld, das von einer einzelnen Wicklung abgegeben wird. Mit anderen Worten wird der

Spannungspuls auf mehrere Statorwicklungen aufgeteilt, die im Ergebnis jedoch den gleichen Feldimpuls erzeugen wie eine einzelne Wicklung. Grundsätzlich kann anstatt eines einzelnen Spannungspulses eine vordefinierte Folge von Spannungspulsen verwendet werden, beispielsweise ein Sinussignal, das mit einem (breiten) Rechteckimpuls moduliert ist, so dass ein Sinussignal für eine vorbestimmte Zeitdauer, die dem Rechtecksignal entspricht, 5 abgegeben wird. Das zugehörige Stromsignal kann entweder nach der Messung durch die Rotorwicklungen aufgenommen werden, oder kann auch grundsätzlich von der Erregerwicklung abgegriffen werden, da die Verbindung zwischen Erregerwicklung und Statorwicklungen die magnetische Kopplung und somit die anisotrope effektive magnetische Permeabilität wiedergibt. Bevorzugt wird jedoch ein Spannungspuls an die Statorwicklungen 10 bzw. an die Statorwicklung abgegeben, wobei der sich daraufhin einstellende Stromverlauf an den Statorwicklungen oder an der Statorwicklung erfasst wird.

Vorzugsweise wird lediglich der Scheitelwert des Strompulses erfasst, das heißt das Maximum des Verlaufs. Dieser kann als Spitzenwert in einem Speicher hinterlegt werden oder in 15 einer Berechnungseinheit eingegeben werden. Je nach Art der Erregung (Permanentmagnet oder Erregerwicklung) werden die jeweils zwei kleinsten oder größten dieser Spitzenwerte ermittelt, und der sich ergebende Winkelsektor bzw. die sich ergebende Winkelspanne wird durch eine dazwischen liegende Winkelrichtung erneut unterteilt. Entlang dieses Zwischenwinkels wird nun eine weitere Messung durchgeführt. 20

Die Erfindung beruht auf einem iterativen Vorgehen, wobei der zu erfassende Winkel durch wiederholte Teilung eines Winkelsektors angenähert wird, wobei zwischen zwei Winkelsektoren ausgewählt wird, welche die beiden maximalen oder minimalen (das heißt extremen) 25 Spitzenwerte ausweisen. In einer ersten Iterationsstufe, im Allgemeinen (m)-Iterationsstufe genannt, wird ein (m)-Magnetfeld einer (m)-Winkelrichtung erzeugt und der zugehörige (m)-Spitzenwert wird erfasst. In dieser (m)-Iterationsstufe werden auch ein oder zwei weitere Spitzenwerte vorgesehen, entweder durch Abrufen aus einem Speicher, in dem Messergebnisse vorheriger Messungen abgelegt sind, oder durch Messen entlang der ein oder zwei 30 weiteren Winkelrichtungen. Die zwei weiteren Spitzenwerte zu den zwei weiteren Winkelrichtungen werden dann gemessen, wenn zuvor keine Messungen in den entsprechenden zwei weiteren Winkelrichtungen durchgeführt wurden, oder wenn die Messergebnisse veraltet sind. Um zu erfassen, wenn die Messungen veraltet sind, kann ein Spitzenwert zusammen mit einem Zeitindikator oder einem Reihenfolgenindikator abgelegt werden, der die 35 Aktualität der Messergebnisse wiedergibt. In einer besonderen Ausführungsform werden in jeder Iterationsstufe drei Messungen ausgeführt und es werden keine Messergebnisse für den Gebrauch in darauf folgenden Iterationsstufen hinterlegt.

- Innerhalb einer (ersten) (m)-Iterationsstufe wird somit ein Wert tatsächlich erfasst, der (m)-Spitzenwert, und es werden ein oder zwei weitere Spitzenwerte vorgesehen (entweder ebenso durch Messen oder durch Abruf eines Speichers), wobei die weiteren Spitzenwerte als (m+i)-Spitzenwerte bezeichnet werden. Die zugehörigen Winkelrichtungen werden als (m+i)-Winkelrichtungen bezeichnet. Alle Winkelrichtungen innerhalb einer Iterationsstufe unterscheiden sich. Gemäß einer Ausführungsform liegt die (m)-Winkelrichtung zwischen den (m+i)-Winkelrichtungen, so dass die (m)-Winkelrichtung einem Iterationsnäherungsschritt entspricht.
- 10 Nachdem in einer (m)-Iterationsstufe drei Spitzenwerte zu drei Winkelrichtungen vorliegen, werden zu Beginn einer darauf folgenden (n)-Iterationsstufe zunächst die zugehörigen Messergebnisse der vorherigen Stufe, die eine Spitzenwertgruppe bilden, verglichen und die beiden größten oder beiden kleinsten Spitzenwerte dieser Spitzenwertgruppe herangezogen, um den nächsten zu untersuchenden Winkelsektor zu ermitteln. Die beiden größten bzw. die
- 15 beiden kleinsten Spitzenwerte der Spitzenwertgruppe werden als Spitzenwerte der (n+1)-Winkelrichtung und (n+2)-Winkelrichtung bezeichnet und bilden die Grundlage für den nächsten zu untersuchenden Winkelsektor, der wieder zu unterteilen ist. Anstatt einer darauf folgenden Unterteilung, die zu zwei weiteren Winkeluntersektoren führt, kann die zwischen den beiden größten bzw. kleinsten Spitzenwerten liegende (n)-Winkelrichtung als
- 20 Endergebnis, das heißt als erfasste Winkellage ausgegeben werden. Falls die Sektoren noch zu breit sind und eine höhere Genauigkeit erwünscht ist, wird die Messung in der (n)-Winkelrichtung durchgeführt. Der (n)-Spitzenwert wird mit dem größten Spitzenwert der vorangegangenen Iterationsstufe verglichen, d.h. mit dem größeren der beiden (n+i)-Spitzenwerte. Der (n)-Spitzenwert und der größere der beiden (n+i)-Spitzenwerte bilden die
- 25 Grundlage für den nächsten zu untersuchenden Winkelsektor.

- Mit (m) werden Einheiten einer vorhergehenden Iterationsstufe beschrieben, wobei mit (n) Einheiten beschrieben werden, die das Ergebnis einer Selektion sind, die auf der (m)-Iterationsstufe fußt und die zu Beginn einer (n)-Iterationsstufe verglichen und ausgewählt werden. Während jeder Iterationsstufe werden mehrere Magnetfelder, Winkelrichtungen und Spitzenwerte festgelegt, abgerufen bzw. gemessen, wobei mit „(m)“ oder „(n)“ ein Feld, eine Richtung oder ein Wert bezeichnet wird, der neu erfasst wird. Mit den Zusätzen „+i“, „+1“ und „+2“ werden weitere Spitzenwerte bzw. Winkelrichtungen bezeichnet, die bereits in einem vorhergehenden Schritt gemessen wurden und somit entweder nochmals
- 35 gemessen werden oder von der vorherigen Stufe übernommen werden können. Der neue Messwert, der dem Zwischenwinkel entspricht, wird somit mit (m) oder mit (n), d.h. ohne Zusatz wie +1 oder +n, bezeichnet.

Vorzugsweise wird zu Beginn des Verfahrens eine Start-Iterationsstufe vorgesehen, in der zunächst der Rotor im Stillstand vorgesehen wird, beispielsweise durch Abbremsen. Der Rotor wird vorzugsweise während des gesamten Verfahrens im Stillstand gehalten.

- 5 Zu Beginn werden drei Start-Magnetfelder in verschiedenen Start-Winkelrichtungen erzeugt, und die zugehörigen Start-Spitzenwerte werden erfasst. Wie bereits bemerkt entspricht ein Start-Spitzenwert dem Maximum eines Start-Strompulses, der durch einen vorgegebenen Start-Spannungspuls erzeugt wurde. Somit werden die Messungen in allen Winkelrichtungen, unabhängig von der Zugehörigkeit zu einer Iterationsstufe oder zu einer
- 10 Start-Iterationsstufe alle in gleicher Weise ausgeführt. Während der Start-Iterationsstufe werden vorzugsweise die jeweiligen Winkel über einen Gesamtwinkel gleich verteilt, wobei der Gesamtwinkel ($360^\circ / p$) entspricht, und p die Anzahl der magnetischen Pole des Rotors ist. p ist beispielsweise 2, wenn der Rotor nur einen Südpol und einen zugehörigen Nordpol aufweist. Auf Grund der 180° -Uneindeutigkeit wird somit nur die Hälfte eines Gesamtum-
- 15 laufs ($= 360^\circ$) bei einer Maschine mit einem Polpaar überdeckt. Auch hier werden je nach Art der Motorerregung die größten oder kleinsten Spitzenwerte erfasst; die kleinsten Spitzenwerte bzw. der kleinste Spitzenwert werden bzw. wird bei permanent erregten elektrischen Motoren verwendet, und die beiden größten Spitzenwerte werden vorzugsweise bei
- 20 mittels Erregerspule erregtem Motor verwendet. Jedoch ist diese Zuordnung nicht notwendig, vielmehr kann diese Zuordnung auch umgekehrt werden, wenn ein 180° -Versatz berücksichtigt wird.

In jeder Iterationsstufe (bis auf die Start-Iterationsstufe) werden die beiden Winkelrichtungen ermittelt, die dem größten bzw. kleinsten Spitzenwert entsprechen, und der sich erge-

25 benden Winkelsektor bzw. die sich ergebende Winkelspanne wird in zwei Teile geteilt. Die beiden Winkelunterteilungen können zwei gleich großen Winkelintervallen entsprechen, beispielsweise im Fall einer arithmetischen Kombination der beiden Winkelrichtungen, um einen Zwischenwinkel zu erfassen. Grundsätzlich muss jedoch der Zwischenwinkel, der die Winkelspanne aufteilt nicht in der Mitte liegen, sondern kann abhängig von dem einer Win-

30 kelrichtung zugehörigem Spitzenwert gewichtet werden. Werden beispielsweise die beiden größten Spitzenwerte ermittelt, und die beiden Spitzenwerte unterscheiden sich, so kann die nächste Winkelrichtung, welche die Winkelspanne unterteilt, umso näher an der Winkelrichtung mit dem größten Spitzenwert liegen, je mehr sich die Spitzenwerte unterscheiden. Die Gewichtung und die Kombination kann erfolgen durch: Multiplikation eines Werts, der dem

35 zugehörigen Spitzenwert wiedergibt, mit der zugehörigen Winkelorientierung bzw. Winkelrichtung, Addieren der gewichteten Winkelrichtungen, die den größten (bzw. kleinsten) Spitzenwerten entsprechen und gegebenenfalls Normieren der sich ergebenden Winkelrichtung. Wenn die größten Spitzenwerte gesucht werden, dann ist der Gewichtungsfaktor umso größer, je mehr der Spitzenwert der zugehörigen Winkelrichtung über dem arithmeti-

schen Mittel der beiden Spitzenwerte der beiden größten Winkelrichtungen liegt. Es können direkt proportionale oder lineare Abhängigkeiten zwischen Gewichtungsfaktor und Überschuss des Spannungsimpulses über das Mittel der Spannungsimpulse verwendet werden. Werden die beiden kleinsten Spitzenwerte gesucht, so ist der Gewichtungsfaktor der Winkelrichtung umso größer, je mehr der Spitzenwert der Winkelrichtung unter dem Mittel der beiden Spitzenwerte liegt. Auch hier können proportionale (mit dem Faktor $-c$, c konstant und positiv) oder lineare (fallende) Abhängigkeiten verwendet werden, um aus dem Spitzenwert den Gewichtungsfaktor zu ermitteln.

10 Anstatt der Vermessung nur einer neuen Winkelrichtung pro Iterationsstufe können grundsätzlich auch mehrere Winkelrichtungen pro Iterationsstufe durch Abgeben eines Spannungspulses auf die Rotorwicklungen vermessen werden. Insbesondere kann pro Winkelrichtung nur ein Spannungspuls verwendet werden, dessen Stromantwort verwendet wird. Alternativ werden jedoch pro Winkelrichtung zwei Magnetfelder erzeugt, die um $+45^\circ$
15 bzw. -45° von der tatsächlichen Winkelrichtung entfernt sind, wobei nun als Bemessungsfaktor nicht das Maximum des jeweiligen Spannungspulses selbst sondern die jeweiligen Maxima der Spannungspulse als Spitzenpaarwert vorgesehen werden, deren Differenz als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl der Winkelsektorhälfte dient. Ansonsten gleicht das Verfahren dem oben beschriebenen Verfahren, wobei in dem oben beschriebenen Verfahren
20 die Spitzenwerte, das heißt die Maxima der jeweiligen Spannungspulse als Bemessungsgrundlage dienen, an deren Stelle in der alternativen Ausführungsform die Differenz zweier Spitzenwerte tritt, die sich in Winkelrichtungen $\pm 45^\circ$ versetzt zu der zu erfassenden Winkelrichtung ergeben. Anstatt nun daher die beiden größten bzw. die beiden kleinsten Spitzenwerte zu ermitteln, um die korrekte Winkelsektorhälfte auszuwählen, werden gemäß der
25 alternativen Ausführungsform die beiden Winkelrichtungen ausgewählt, deren Differenz der jeweils zugehörigen $\pm 45^\circ$ -Spitzenwerte größer ist (bei Motoren mit Erregerwicklung) bzw. deren Differenz den beiden kleinsten Differenzen entspricht (bei permanent erregten Motoren).

30 Ferner kann anstatt des Spitzenwerts eines Strompulses auch dessen maximale zeitliche Ableitung als Spitzenwert vorgesehen werden. Anstatt eines Abstands von 45° können jedoch auch beliebige Abstände zu der eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung verwendet werden, wobei die Winkeldifferenzen in ihrem Betrag gleich sind. Vorzugsweise entspricht die Winkeldifferenz zwischen der eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung der Winkelrichtung,
35 an der die Messung ausgeführt wird einem Viertel des Gesamtwinkels, das heißt einem Viertel von $360^\circ/p$, wobei p die Anzahl der magnetischen Pole des Rotors ist. Umfasst der Rotor daher einen Nord- und einen Südpol ($p = 2$), ergibt sich somit eine Winkeldifferenz von $\pm 45^\circ$ zur eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung.

Grundlage für diese alternative Form, in der anstatt entlang der zu erfassenden Winkelrichtung ein Doppelpuls in zwei von der zu erfassenden Winkelrichtung gleichermaßen beabstandeten Winkelrichtungen abgegeben wird, bildet die folgende Überlegung. Je geringer der Abstand der zu erfassenden Winkelrichtung vom absoluten Minimum bzw. vom absoluten Maximum ist, desto kleiner wird die Änderung der Induktivität mit dem Winkel $dL/d\varphi$. Im schlechtesten Fall gilt $dL/d\varphi = 0$, sodass die Grundlage zur Entscheidung zwischen zwei Winkelsektorhälften im Wesentlichen durch Ungenauigkeiten bestimmt wird. Dadurch wird die Empfindlichkeit des Verfahrens in der Nähe des gesuchten Punktes sehr schlecht, wenn der gesuchte Punkt einer Winkelrichtung entspricht, die dem Minimum oder dem Maximum (abhängig vom Motortyp) nur geringfügig entfernt ist. Auch größere Winkelunterschiede führen an diesem Punkt zu einer geringen Differenz der Stromanstiege.

Die Induktivität $L(\varphi)$ ist bei Maschinen in gängiger Bauweise symmetrisch zum gesuchten Extrem, das heißt symmetrisch zu der Winkelrichtung, die dem absoluten Minimum bzw. dem absoluten Maximum der Spitzenwerte entspricht. Gemäß der alternativen Variante, in der pro Winkelrichtung ein Doppelpuls (vorzugsweise zeitlich versetzt) beabstandet zu der zu erfassenden Winkelrichtung abgegeben wird, werden beispielsweise zwei Winkelrichtungen φ_1 und φ_2 (die jeweils eine zu erfassende Winkelrichtung darstellen) wie folgt erfasst und miteinander verglichen. Die Einzelpulsvariante kann mit der Doppelpulsvariante kombiniert werden, beispielsweise innerhalb ein und desselben Erfassungsprozesses, wobei die Varianten gemäß der Winkelrichtung des aktuellen (vorläufigen) Extrems der Spitzenwerte ausgewählt werden, um bei jedem Messschritt die maximale Genauigkeit zu erreichen. Anstatt jeweils ein einzelner Puls in Richtung der zu erfassenden Winkelrichtung abzugeben, und die entsprechenden Stromanstiege, bzw. deren Spitzenwerte zu vergleichen, werden gemäß Doppelpulsvariante nun Spannungspulse bei den Winkeln $\varphi_1 + 45^\circ$, $\varphi_1 - 45^\circ$, $\varphi_2 + 45^\circ$, $\varphi_2 - 45^\circ$ von der Statorwicklung ausgegeben (dies entspricht zwei Doppelpulsen). Liegen φ_1 und φ_2 in der Nähe des gesuchten (absoluten) Extrempunkts, so werden nun Spannungspulse in den Richtungen mit der größten Steigung $dL/d\varphi$ ausgegeben. Durch das Versetzen der Winkelrichtung von der eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung wird somit die Messung vom „Totpunkt“ zu dem Punkt mit der größten Steigung und somit zu dem Punkt mit der größten Differenz verlagert. Auf Grund der Symmetrie der Induktivität $L(\varphi)$ zum gesuchten Extrempunkt gilt: je näher der Winkel φ am gesuchten Extrempunkt liegt, desto kleiner wird die Differenz zwischen dem Stromanstieg bzw. dem Spitzenwert bei $\varphi + 45^\circ$ und $\varphi - 45^\circ$. Liegt φ im Extrempunkt, so sind beide Stromanstiege gleich, die Differenz ist null. Eine nähere Erläuterung dieser Vorgehensweise findet sich in Abbildung 4. Gesucht wird bei dieser Variante daher der Winkel φ , bei dem die Differenz der Stromanstiege bzw. die Differenz der Spitzenwerte bei $\varphi + 45^\circ$ und $\varphi - 45^\circ$ minimal wird. Verglichen werden somit die Differenzen zwischen den zwei Messungen der Doppelpulse, wobei die Differenz grundsätzlich an die Stelle des Spitzenwerts als Maß zur Winkelerfassung treten kann. Je

nach bereits in einem vorherigen Iterationsschritt erfassten Winkelsektor kann sich daher anbieten, entweder das auf die Spitzenwerte abzielende Verfahren zu verwenden, oder die Doppelpulsvariante zu verwenden. Innerhalb eines Messvorgangs kann gemäß (vorläufigem) ausgewählten Winkelsektor entweder der Spitzenwert entlang der zu erfassenden Winkelrichtung als Grundlage herangezogen werden, oder es können zwei Messungen entlang zweier gleichmäßig von der zu erfassenden Winkelrichtung entfernten Messrichtung vorgenommen, wobei dann die Differenz des Messpaares als Unterscheidungsmaß für die tatsächlich zu erfassende Winkelrichtung herangezogen wird.

- Die Erfindung eignet sich insbesondere für Antriebsmotoren in Elektrofahrzeugen oder Hybridfahrzeugen, beispielsweise Synchronmotoren mit permanenterregtem oder mittels Erregerspule erregtem Rotor. Grundsätzlich ist die Erfindung jedoch auch für andere Anwendungsgebiete geeignet, in denen vorzugsweise Synchronmotoren zum Einsatz kommen und aus dem Ruhezustand heraus mit maximalem Drehmoment oder gemäß einem vorgegebenen Drehzahlverlauf, der eine genaue absolute Winkelerfassung während des Stillstands des Motors erfordert, angefahren werden.

Der Spannungspuls kann gemäß einem beliebigen Verlauf abgegeben werden, vorzugsweise in Form eines Spannungsverlaufs, der unabhängig von der Auswahl oder Gruppierung von angeschlossenen Statorwicklungen (also unabhängig von seiner Richtung) den gleichen Betrag aufweist. Der zugehörige erfasste Strompuls kann ferner gegenüber dem eingegebenen Spannungspuls normiert werden. Der Strom kann erfasst werden mittels eines Shunt-Widerstands oder mittels eines Hallsensors, der an einer Zuleitung angeordnet ist. Ferner kann die Auswirkung des Spannungspulses auf den Rotor durch Spannungs- oder Stromerfassung an einer Erregerwicklung des Rotors gemessen werden.

Um die 180°-Zweideutigkeit aufzulösen wird vorzugsweise ein Schritt der Absolutorientierung ausgeführt, bei dem entlang um 180° entgegengesetzten Winkelrichtungen gemessen wird oder, bei einem Rotor mit mehr als zwei Polen, in Richtungen, die einem vielfachen von 360°/p entsprechen, wobei p die Anzahl der magnetischen Pole des Rotors ist. Hierbei werden Orientierungs-Spitzenwerte des Strompulses erfasst, der durch die Orientierungsmagnetfelder erzeugt wurde und es wird der kleinste bzw. der größte Orientierungsspitzenwert und die zugehörige Winkelrichtung der beiden oder aller Orientierungs-Spitzenwerte erfasst. Die zugehörige Winkelrichtung liegt in einem Absolutorientierungswinkelsektor, der sich durch Aufteilen eines gesamten Umfangs in p Winkelsektoren ergibt. Bei einem Rotor mit einem Nord- und einem Südpol kann somit durch Vergleich zwischen zwei verschiedenen, um 180° versetzten Winkelrichtungen bzw. deren Spitzenwerte die Hemisphäre (d.h. Halbwinkelumfang) erkannt werden, in der der Rotor ausgerichtet ist. Bei Rotoren mit Erregerwicklung entspricht der größere der beiden Spitzenwerte der Hemisphäre, in die der

magnetische Nordpol zeigt. Während des Schritts der Absolutorientierung wird vorzugsweise der Rotor erregt, wobei dies im Fall von mittels Erregerspule erregten Motoren durch Bestromung der Erregerwicklung vorgesehen wird.

5 Die Erfindung wird somit durch ein erfindungsgemäßes Verfahren oder durch eine Vorrichtung umgesetzt, die einen Winkelsektor, der durch zwei Winkelrichtungen abgegrenzt ist, unterteilt, wobei die Vorrichtung eingerichtet ist, entlang dieser Winkelrichtung (und entlang anderer Winkelrichtungen) den Spitzenwert (oder Differenz bei der Doppelpulsvariante) zu ermitteln, die jeweiligen Werte zu vergleichen, die zwei größten bzw. die zwei kleinsten Werte aus den Werten durch Vergleich zu ermitteln, und eine Winkelrichtung vorzusehen, die zwischen den beiden Winkelrichtungen der beiden größten bzw. kleinsten Spitzenwerte liegt. Um eine Winkelrichtung vorzusehen, die zwischen zwei Winkelrichtungen liegt, umfasst die Vorrichtung vorzugsweise eine Mittelungseinrichtung, die gegebenenfalls mit einer Gewichtungsvorrichtung gekoppelt sein kann, die die Winkelangaben mit dem zugehörigen Spitzenwert oder mit einer Konstanten minus Spitzenwert gewichtet. Die Vorrichtung umfasst ferner Vergleichsvorrichtungen, die Strompulse vergleicht, vorzugsweise Maximalwerte bzw. Spitzenwerte von Strompulsen. Ferner umfasst die Vorrichtung vorzugsweise eine Ansteuerungsvorrichtung, um einen Spannungspuls an die Statorwicklungen abzugeben. Die Vorrichtung kann ferner einen Speicher umfassen, der die beiden größten bzw. kleinsten Spitzenwerte (oder Differenzen bei der Doppelpulsvariante) zusammen mit den zugehörigen Winkelrichtungsangaben speichert, oder der nur die Winkelrichtungen der größten Spitzenwerte speichert. Um die Doppelpulsvariante auszuführen umfasst die Vorrichtung vorzugsweise eine Additionsvorrichtung, um aus der eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung die beiden dazu beabstandeten Winkelrichtungen auszugeben, wobei die Additionsvorrichtung zwei vom Betrag her gleiche und vom Vorzeichen verschiedene Beträge zu der eigentlichen zu erfassenden Winkelrichtung addiert. Ferner umfasst die Vorrichtung zur Ausführung der Doppelpulsvariante vorzugsweise einen Subtrahierer, der die Differenz zwischen zwei Spitzenwerten errechnet und zur Auswertung an einen daran angeschlossenen Vergleichler weitergibt.

30

Die Vorrichtung umfasst ferner vorzugsweise eine Startvorrichtung mit einem Startwinkel, der eine erste Näherung der zu erfassenden Winkelrichtung ist. Die Startvorrichtung kann mit einem Grob-Sensor oder einer Winkelrichtungsquelle verbunden sein, die die Winkelrichtung mit einer geringen Genauigkeit ausgibt.

35

Erfindungsgemäß wird eine winkelabhängige Induktivität durch Einprägen eines Spannungspulses und Auswertung des resultierenden Strompulses erfasst. Alternativ könnte auch ein Strompuls eingepreßt werden, und der resultierenden Spannungspuls könnte zur Erfassung der winkelabhängigen Induktivität ausgewertet werden. Die eingepreßten Strompul-

se/ Spannungspulse sind vorzugsweise für sich genommen Einzelpulse mit vordefiniertem Verlauf, jedoch könnten auch anstatt eines Pulses eine vordefinierte Pulsfolge eingepreßt werden.

5 Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

10 Es zeigen:

Figur 1a ein Winkelschaubild zur Erläuterung der Initialisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Figur 1b ein zugehöriges Spannungs- und Stromverlaufsbild;

15 Figur 2a, 2b und 2c eine Winkeldarstellung der iterativen Winkelerfassung gemäß der Erfindung;

Figur 3 eine Winkelerfassung gemäß dem iterativen Winkelerfassungsverfahren gemäß der Erfindung in Koordinatensystemdarstellung; und

20 Figur 4 eine Winkeldarstellung einer erfindungsgemäßen Winkelerfassung gemäß einer Doppelpuls-Ausführungsform in Koordinatensystemdarstellung.

Die Figur 1a zeigt die Initialisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand einem Kreisdiagramm, das auf einem Rotor mit einem Nord- und einem Südpol basiert. Entlang
 25 der mit d gekennzeichneten Achse verläuft die Hauptmagnetisierungsrichtung und somit die Feldlinien des von einer Erregerspule erzeugten magnetischen Feldes. Die q-Achse verläuft senkrecht hierzu und entspricht der Querachse, die senkrecht zu der Längsachse d ist, wobei die q-Achse senkrecht zu den Feldlinien des Erregermagnetfelds verläuft. Anfänglich werden drei um jeweils 60° zueinander versetzte Winkelrichtungen gemäß dem aktiven Abtastungsverfahren abgetastet, das heißt indem in die Richtung φ_1 , φ_2 und φ_3 jeweils ein Spannungsimpuls abgegeben wird. Mit anderen Worten werden drei verschiedene Spannungsimpulse an den Stator abgegeben, der hierdurch drei verschiedene Magnetfelder in Richtungen φ_1 , φ_2 und φ_3 erzeugt. Die zugehörigen Stromverläufe werden erfasst.

35 Die Figur 1b zeigt mit U (φ_1) den Spannungspuls, der zu einem ersten Zeitpunkt an den Rotor abgegeben wurde, mit U (φ_2) einen zweiten Spannungspuls, der an den Rotor abgegeben wurde, und mit U (φ_3) einen Spannungspuls, der nach den beiden ersten Spannungspulsen an den Rotor abgegeben wurde. Vorzugsweise wird immer nur ein Spannungspuls an den Stator abgegeben, wobei zwischen zwei Spannungspulsen vorzugsweise eine Mindest-

zeitdauer liegt. Spannungspulse, die zu verschiedenen Winkelrichtungen gehören, überlappen sich vorzugsweise nicht, sondern sind um ein Mindestzeitintervall voneinander entfernt. Die durch die Spannungspulse erzeugten Ströme sind gestrichelt dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Strom versetzt zu der Spannung ansteigt und erst nach der abfallenden

5 Flanke der Spannung abfällt. Durch den Phasenversatz zwischen Strom und Spannung lässt sich auf die jeweilige Induktivität in dieser Richtung schließen. Erfasst wird das Maximum des Stromverlaufs als Betrag, das heißt Betrag von $I(\varphi_1)$, Betrag von $I(\varphi_2)$, Betrag von $I(\varphi_3)$. Es ist zu erkennen, dass der größten Spitzenwert des erzeugten Strompulses bei φ_1 liegt, der nächst kleinere bei φ_2 liegt und der kleinste Strompuls bei φ_3 liegt. Erfindungsgemäß werden die Spitzenwerte miteinander verglichen, und die beiden größten Spitzenwerte

10 bzw. deren Winkelrichtungen werden an die nächste Iterationsstufe weitergegeben. Aus dem in Figur 1b dargestellten Diagramm folgt, dass die tatsächliche Winkelrichtung des Rotors näher bei φ_1 als bei φ_2 liegt (der Spitzenwert von φ_2 ist kleiner als der Spitzenwert von φ_1), wobei in der Richtung φ_3 der kleinste Spitzenwert erfasst wurde. Daraus kann

15 gefolgert werden, dass in der Richtung φ_3 am weitesten von der tatsächlich zu erfassenden Winkelrichtung entfernt ist. Ferner kann gefolgert werden, dass das absolute Maximum aller Spitzenwerte zwischen φ_1 und φ_2 liegt. Die in Figuren 1a und 1b dargestellte Vorgehensweise umfasst noch eine 180° -Uneindeutigkeit, die vor oder nach dem Initialisierungsverfahren oder nach dem iterativen Verfahren aufgelöst werden kann. Ferner kann das in den Fi-

20 guren 1a und 1b dargestellte Initialisierungsverfahren kombiniert werden mit der Auflösung der 180° -Uneindeutigkeit, indem eine vierte Winkelrichtung untersucht wird, die entgegengesetzt zu φ_1 liegt. Damit ist ein Halbraum von 180° vollständig abgedeckt und beispielsweise durch den Vergleich von φ_1 zu der Winkelrichtung, die φ_1 entgegengesetzt ist, kann die Nord-Südausrichtung des Rotors ermittelt werden. Somit wird die Erfassung in Rich-

25 tung φ_1 doppelt verwendet, zum einen zum Initialisieren (das heißt zur Ermittlung einer grundlegenden Ausrichtung des Rotors), und zum anderen zur Auflösung der 180° -Uneindeutigkeit, indem eine Messung in Richtung φ_1 und eine Messung in Richtung 180° minus φ_1 ausgeführt wird.

30 In den Figuren 2a-2c ist der Verlauf des erfindungsgemäßen Winkelerfassungsverfahren dargestellt. Mit q und d sind die Hauptachsen des Rotors bezeichnet. Zunächst werden zwei Winkelrichtungen vorgegeben, 10 und 12. Das in Figur 2a dargestellte Winkeldiagramm entspricht dem in Figur 1a dargestellten Winkeldiagramm, so dass der in Figur 2a dargestellte Schritt dem Schritt entspricht, der auf den Initialisierungsschritt folgt. Die Richtungen 10

35 und 12 entsprechen somit φ_1 bzw. φ_2 . Aus der Figur 2b ist der Grund ersichtlich, warum aus dem in Figur 1 dargestellten Initialisierungsschritt die Winkelrichtungen φ_1 und φ_2 übernommen wurden: Die Spitzenwerten von φ_1 und φ_2 waren die beiden größten Werte aller gemessenen Spitzenwerte. Es ist aus Figur 1a zu erkennen, dass die gesuchte Winkelrichtung der Hauptachse des Rotors, die mit d gekennzeichnet ist, nahe bei φ_1 liegt. Aus

diesem Grund ergab sich bei φ_1 gemäß der Figur 1b der größte Spitzenwert $i(\varphi_1)$. In Figur 2a wird dargestellt, dass eine zwischen 10 und 12 ($=\varphi_1$ und φ_2) gelegene Winkelrichtung ausgewählt wird, in diesem Fall durch Mittelung. Die neue Winkelrichtung 14 entspricht einer Zwischenwinkelrichtung, die sich beispielsweise durch arithmetisches Mitteln der
5 Richtungen 10 und 12 ergibt.

In Figur 2b ist der darauf folgende Iterationsschritt dargestellt, demgemäß aus dem vorherigen Schritt die beiden Winkelrichtungen der beiden größten Spitzenwerte, 14 und 10, übernommen werden. Dies entspricht dem Schritt des Vorsehens von mindestens zwei Spitzenwerten. Die Messung entlang der Richtung 16 dient zur Vervollständigung des Iterationsschritts und ermöglicht einen Vergleich der beiden Sektoren, die zwischen 14 und 16 bzw. 16 und 10 liegen. Als Beginn der darauf folgenden Iterationsstufe kann das Ermitteln der beiden Winkelrichtungen vorgesehen werden, in denen die beiden größten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe ausgewählt werden, wobei die Spitzenwertgruppe die Spitzenwerte der Winkelrichtungen 10, 16 und 14 enthält.
10
15

In Figur 2c wird darauf folgend, jedoch noch innerhalb der nächsten Iterationsstufe, ein Zwischenwinkel zwischen den Winkellagen 10 und 16 ermittelt, wobei die Winkelrichtungen 10 und 16 bereits in einem vorherigen Schritt der gleichen Iterationsstufe als die beiden Winkelrichtungen mit den größten Spitzenwerten ermittelt wurden. Als Winkelrichtung zwischen der Winkelrichtung 10 und der Winkelrichtung 16 wird die Winkelrichtung 18 vorgesehen, die exakt in der Mitte zwischen der Winkelrichtung 10 und 16 liegt. Die Mitte zwischen zwei Winkeln wird beispielsweise durch arithmetische Mittelung vorgesehen. Es ist aus den Figuren 2a-2c zu erkennen, dass die jeweils neu hinzutretenden Winkelrichtungen, das heißt 14, dann 16 und dann 18 sich mehr und mehr der tatsächlichen Winkelrichtung der Hauptachse des Rotors annähern. Die Winkelrichtung 18 kann entweder ausgegeben werden oder wird für eine weitere Iterationsstufe als Grundlage verwendet, zusammen mit der Winkelrichtung 16, da diese, neben der Winkelrichtung 18 den größeren Spitzenwert aufweist. Die Vergleichsschritte können vereinfacht werden, indem nicht die beiden größten sondern der kleinste Spitzenwert und dessen Winkelrichtung ermittelt wird. Der kleinste Spitzenwert und dessen Winkelrichtung wird dann aussortiert. Bei permanent erregten Elektromotoren werden in gleicher Weise entweder die beiden kleinsten Spitzenwerte und deren Winkelrichtung ermittelt und weitergegeben, oder es wird der größte Spitzenwert ermittelt bzw. dessen Winkelrichtung, der daraufhin aussortiert wird. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere wenn in jeder Iterationsstufe insgesamt drei Winkelrichtungen untersucht werden, wovon eine aussortiert wird und die verbleibenden zwei an die nächste Iterationsstufe weitergegeben wird.
20
25
30
35

Wenn die Figur 2b als (m)-Iterationsstufe aufgefasst wird, und die Figur 2c als (n)-
Iterationsstufe aufgefasst wird, dann entspricht die (m)-Winkelrichtung der Richtung 16, da
in dieser ein Magnetfeld angelegt wird. Der zugehörige (m)-Spitzenwert entspricht dem
zugehörigen (m)-Spannungspuls. Als (m+i)-Spitzenwerte und die zugehörigen (m+i)-
5 Winkelrichtungen können die Winkelrichtungen 10 und 14 betrachtet werden, da diese le-
diglich vorgesehen werden, das heißt beispielsweise durch Übertrag von einer vorherigen
Iterationsstufe oder von einer vorherigen Start-Iterationsstufe. Die darauf folgende (n)-
Iterationsstufe ist in Figur 2c dargestellt, wobei die (n+1)-Winkelrichtung und die (n+2)-
Winkelrichtung mit 10 und 16 dargestellt werden, da diese bereits vorhanden sind. Als (n)-
10 Winkelrichtung wird der Zwischenwinkel 18 vorgesehen, der in der (n)-Iterationsstufe als
neuer Iterationswert erzeugt wird.

In der Figur 3 ist die Abhängigkeit der Induktivität von dem Winkel φ dargestellt. Diese ist
nicht notwendigerweise sinusförmig, sondern hängt insbesondere von der Geometrie und
15 der Materialeigenschaft des Rotors ab. Zunächst werden zwei Initialisierungspulse 1a, 1b,
1c mit gleichem Abstand abgegeben, wobei diese durch ihre breite Fächerung einen Winkel
von bereits 120° abdecken. In Figur 3 ist der Initialisierungspuls 1a bei 30° , der Initialisie-
rungspuls 1b bei 90° und der Initialisierungspuls 1c bei 150° angeordnet. Da in Figur 3 nach
dem Minimum gesucht wird, wird eine Einzelpulssequenz aus den Pulsen 2a und 2b abge-
20 geben. Dies ist beispielsweise die Folge einer Minimumsuche, die ergeben hat, dass die Initi-
alisierungspulse mit den Richtungen 1a und 1c die beiden kleinsten Spitzenwerte aufwiesen.
Der Spannungspuls bei 2a entspricht somit einer Winkellage zwischen 1a und 1c. Darauf
folgend wird eine Einzelpulssequenz bei 3a und 3b abgegeben, wobei die weiteren Auswer-
tungsschritte nicht näher betrachtet werden. 3a und 3b entsprechen den Richtungen 30° und
25 15° , wohingegen die Spannungspulse 2a und 2b in die Richtungen 0° und 30° abgegeben
wurden. Es ist zu erkennen, dass die Winkelrichtung 1a, 2b und 3a weiter verwendet wird,
beispielsweise durch erneutes Aussenden eines Pulses in dieser Richtung oder durch Spei-
chern des dazugehörigen Spitzenwerts. Schließlich werden die Spannungspulse 4a und 4b in
die Winkelrichtungen 15° und 195° abgegeben. Diese dienen der Absolutwinkelorientierung.

30

In der Figur 4 ist eine Winkelerfassung gemäß der Doppelpulsvariante wiedergegeben. Die
Winkel p_1 und p_2 liegen bereits in der Nähe des gesuchten Minimums, wodurch es schwie-
rig wird, durch den Vergleich der (sich nun sehr ähnlichen) Spitzenwerte die richtige Ent-
scheidung für die Auswahl der beiden größten oder kleinsten Spitzenwerte zu treffen. Der
35 Induktivitätsunterschied Δp_1 zwischen p_1 und p_2 ist klein, wodurch eine Unterscheidung
mit Fehler behaftet sein kann. Daher wird zur näheren Untersuchung der Winkelrichtung p_1
ein Pulspaar in die Richtungen p_{1a} und p_{1b} ausgesendet, wobei p_{1a} und p_{1b} $\pm 45^\circ$ von p_1
entfernt sind. p_{1a} und p_{1b} dienen zur näheren Auswertung des Punkts p_1 . Um den Punkt p_2
auszuwerten, wird an den Winkelrichtungen p_{2a} und p_{2b} gemessen, die ebenso um $\pm 45^\circ$

von p2 entfernt sind. Der Abstand von +/- 45° gewährleistet, dass an diesen Stellen ein Unterscheidungsmaximum vorliegt, wohingegen an den Stammpunkten p1 und p2 ein Unterscheidungsminimum vorliegt. Unterscheidungsmaximum und Unterscheidungsminimum betreffen die Qualität der Unterscheidung der Spitzenwerte. Um die Punkte p1 und p2 nun

5 auszuwerten wird zur Auswertung der Richtung p1 die Differenz der Spitzenwerte zwischen p1a und p1b gebildet, die Differenz hinsichtlich der Induktivität wird als dp3 bezeichnet. Um in gleicher Weise p2 auszuwerten, wird die Differenz der Spitzenwerte zwischen p2a und p2b ausgewertet, wobei dp2 die Differenz hinsichtlich der Induktivität angibt. Es ist klar zu erkennen, dass die Differenz dp3 sich stark von der Differenz dp2 unterscheiden

10 lässt. Somit ergibt sich durch vergleichende Differenzen ein besseres Unterscheidungsmerkmal, da die Werte deutlich unterschieden sind und auch bei verrauschten Signalen die Unterscheidung sicher vorgesehen werden kann. Im Vergleich hierzu ist der tatsächliche Induktivitätsunterschied zwischen p2 und p1 als dp1 dargestellt, wobei dieser graphisch in Beziehung gesetzt werden kann zu den Differenzen dp2 und dp3. Es ist gut zu erkennen,

15 dass die Differenz dp1, die sich bei einer Einzelpulsmessung ergeben würde, zu deutlich schwieriger zu unterscheidenden Iterationen führt, sodass leichtes Rauschen in falschen Entscheidungen resultieren kann. Hingegen lassen sich dp3 und dp2 gut unterscheiden, obwohl die Stammpunkte p1 und p2 nah beieinander liegen. Selbst wenn das Endergebnis stark verrauscht ist, lässt sich dp3 von dp2 gut unterscheiden, um zwischen diesen beiden Werten

20 den größeren oder den kleineren auszuwählen. Hingegen lässt sich zwischen p1 und p2 selbst schlecht unterscheiden, welches von den beiden Punkten der niedrigeren Induktivität angehört, wenn von üblichen Messfehlern ausgegangen werden muss. Somit ist der Unterschied zwischen den Induktivitätsdifferenzen bzw. zwischen den zugehörigen Spitzenwertdifferenzen dp2 und dp3 relativ groß, im Vergleich zu der Unterscheidungsfähigkeit zwischen p1 und p2 bzw. den dazugehörigen Spitzenwerten. Die Figur 4 zeigt Messungen lediglich zu zwei Winkelrichtungen, das heißt zu p1 und p2. Jedoch kann das anhand Figur 4

25 dargestellte Verfahren auch mit einer einzelnen Winkelrichtung, oder mittels 3 oder mehr Winkelrichtungen ausgeführt werden, die jeweils mittels eines Doppelpulspaares erfasst werden. Als Doppelpulspaar werden Spannungspulse bezeichnet, die in zwei verschiedene

30 Winkelrichtungen abgegeben werden, die jedoch beide von der gleichen, eigentlich zu erfassenden Winkelrichtung gleich weit beabstandet sind. Das Doppelpulspaar umfasst zwei Spannungspulse, die nacheinander ausgeführt werden, vorzugsweise mit einem Schutzintervall zwischen den beiden Spannungspulsen, um die zugehörigen Strompulse besser erfassen zu können. Wie bereits vermerkt werden Spannungspulse immer einzeln abgegeben und

35 vorzugsweise nicht überlappend.

Ansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Winkellage einer Synchronmaschine mit magnetisch anisotropen Rotor, mit:
 - 5 einer (m)-Iterationsstufe, welche umfasst: Erzeugen eines (m)-Magnetfelds einer (m)-Winkelrichtung mit einer sich zeitlich ändernden Stärke durch Anlegen eines (m)-Spannungspulses an die Synchronmaschine und Erfassen eines (m)-Spitzenwerts des durch den (m)-Spannungspuls erzeugten Strompuls; und
Vorsehen von weiteren (m+i)-Spitzenwerten, welche durch Magnetfelder in unterschiedlichen (m+i)-Winkelrichtungen erzeugt werden, die sich von der (m)-
10 Winkelrichtung unterscheiden;
einer (n)-Iterationsstufe, die auf die (m)-Iterationsstufe folgt, und die umfasst:
Ermitteln der Winkelrichtungen, in denen die beiden größten oder die beiden kleinsten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe auftreten, als (n+1)-Winkelrichtung und
15 (n+2)-Winkelrichtung, wobei die Spitzenwertgruppe den (m)-Spitzenwert sowie die weiteren (m+i)-Spitzenwerte umfasst; und
Vorsehen einer (n)-Winkelrichtung, die zwischen der (n+1)-Winkelrichtung und der (n+2)-Winkelrichtung liegt, als Winkellage-Ausgabe oder
Vorsehen einer (n)-Winkelrichtung, die zwischen der (n+1)-Winkelrichtung und der
20 (n+2)-Winkelrichtung liegt, als (n)-Winkelrichtung, in der ein (n)-Magnetfeld mit einer sich zeitlich ändernden Stärke durch Anlegen eines (n)-Spannungspulses an die Synchronmaschine erzeugt wird, um einen (n)-Spitzenwert des durch den (n)-Spannungspuls erzeugten Strompuls zu erfassen.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1, mit einer Start-Iterationsstufe, die vor der (m)-Iterationsstufe ausgeführt wird, und die umfasst:
Vorsehen des Rotors im Stillstand;
Erzeugen von mindestens drei Start-Magnetfeldern in unterschiedlichen Start-
Winkelrichtungen mit einer sich zeitlich ändernden Stärke durch Anlegen von Start-
30 Spannungspulsen und Erfassen der zugehörigen Start-Spitzenwerte der durch die jeweiligen Start-Spannungspulsen erzeugten Start-Strompuls; wobei benachbarte Start-
Winkelrichtungen jeweils um den gleichen Distanzwinkel voneinander beabstandet sind;
Ermitteln der beiden Start-Winkelrichtungen, in denen die beiden größten oder die beiden kleinsten Spitzenwerte aller Start-Spitzenwerte auftreten;
35 Vorsehen der (m)-Winkelrichtung als eine Winkelrichtung, die zwischen den beiden ermittelten Start-Winkelrichtungen liegt; und
Vorsehen der (m+i)-Winkelrichtungen als die beiden ermittelten Start-
Winkelrichtungen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erzeugen der Magnetfelder mit sich zeitlich ändernder Stärke umfasst: Anlegen eines vordefinierten Spannungspulses an eine Statorwicklung oder verteilt an mehrere Statorwicklungen und der vordefinierte Spannungspuls einen vordefinierten Verlauf aufweist.
- 5
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Vorsehen einer Winkelrichtung, die zwischen zwei Winkelrichtungen liegt, umfasst: Vorsehen der Winkelrichtung als Summe der zwei Winkelrichtungen geteilt durch zwei oder Vorsehen der Winkelrichtung als Summe der zwei Winkelrichtung, die gemäß eines jeweiligen Gewichtungsfaktor gewichtet werden, wobei der jeweilige Gewichtungsfaktor umso kleiner ist, je mehr der zugehörige Betrag des Spitzenwerts von dem kleinsten oder von dem größten Spitzenwert der Spitzenwertgruppe abweicht.
- 10
5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ermitteln der Winkelrichtungen, in denen die beiden größten oder die beiden kleinsten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe auftreten, umfasst: Ermitteln der Winkelrichtungen, in denen die beiden kleinsten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe auftreten, wenn die Synchronmaschine eine mittels Permanentmagnet erregte Synchronmaschine ist, und Ermitteln der Winkelrichtungen, in denen die beiden größten Spitzenwerte aus einer Spitzenwertgruppe auftreten, wenn die Synchronmaschine eine mittels Erregerwicklung erregte Synchronmaschine ist.
- 15
- 20
6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Erzeugen eines Magnetfelds einer Winkelrichtung und Erfassen eines Spitzenwerts umfasst: Erzeugen eines Magnetfelds, das entlang der Winkelrichtung verläuft durch geeignete Verteilung des Spannungspulses auf verschiedene Statorwicklungen, die jeweils Magnetfeldkomponenten erzeugen, die addiert entlang der Winkelrichtung verlaufen; und Erfassen des Stromes in einer Leitung, an die der Spannungspuls angelegt wird, mittels eines Shunt-Widerstands, mittels eines Hall-Sensors oder einer indirekten Stromerfassungsvorrichtung, oder wobei Erzeugen eines Magnetfelds in einer Winkelrichtung und Erfassen eines Spitzenwerts umfasst nacheinander: Erzeugen von zwei Magnetfeldern, die um die gleiche Winkeldifferenz zu der Winkelrichtung zu beiden Seiten der Winkelrichtung versetzt sind, durch geeignete Verteilung der Spannungspulse auf verschiedene Statorwicklungen, wobei die Winkeldifferenz einem Viertel eines Gesamtwinkels von $360^\circ/p$ entspricht, wobei p die Anzahl der magnetischen Pole des Rotors ist; und Erfassen die Differenz der Beträge der Stromspitzenwerte, wobei die Winkelrichtung der Mitte der Winkelrichtungen der beiden Magnetfelder entspricht.
- 25
- 30
- 35

7. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner umfasst: einen Schritt der Absolutorientierung, wobei der Schritt umfasst: Vorsehen einer Läufererregung durch Vorsehen eines Permanentmagneten oder durch Bestromen einer Erregerwicklung, Erzeugen von Orientierungsmagnetfeldern mit einer sich zeitlich ändernden Stärke in allen Winkelrichtungen, 0° und 360°/p, wobei p die Anzahl der magnetischen Pole des Rotors ist; Erfassen der Orientierungs-Spitzenwerte des Strompuls, der durch die Orientierungsspannungspulse erzeugt wurde; und Ermitteln des kleinsten oder des größten Orientierungs-Spitzenwerts und der zugehörigen Winkelrichtung; und Winkel des Absolutorientierungswinkelsektors, in dem die zugehörige Winkelrichtung liegt.
8. Vorrichtung zur Winkelerfassung von Synchronmotoren, mit: einem oder mehreren Stromsensoren, einem Spannungspulsgenerator und einer daran angeschlossenen Ansteuervorrichtung, die einen Winkeleingang aufweist, wobei die Ansteuervorrichtung die von dem Spannungspulsgenerator erzeugte Spannung derart auf Ausgänge verteilt, die zum Anschließen des Synchronmotors eingerichtet sind, dass der anschließbare Synchronmotor ein Feld erzeugt, dessen Richtung einem an dem Winkeleingang anliegenden Winkelsignal entspricht; wobei die Stromsensoren an die Ausgänge angeschlossen sind, um die durch die Ausgänge fließenden Ströme zu erfassen; wobei die Vorrichtung ferner eine Vergleichsvorrichtung umfasst, die eingerichtet ist, die Strompulse, die durch Spannungspulse bei verschiedenen Winkelsignalen erzeugt wurden, zu vergleichen, um die beiden größten oder kleinsten aller Strompulse und die beiden zugehörigen Winkelsignale zu erfassen und die beiden zugehörigen Winkelsignale an einem Ausgang der Vergleichsvorrichtung auszugeben, wobei die Ansteuereinrichtung mit diesem Ausgang verbunden ist und die Vorrichtung eine Mittelungseinrichtung umfasst, die die beiden Winkelsignale hinsichtlich ihres zugehörigen Winkels mittelt, und die Mittelungseinrichtung mit dem Winkeleingang verbunden ist, um einen gemittelten Winkel an diesen abzugeben, um die Ansteuerungsvorrichtung gemäß diesem Winkel anzusteuern.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, die ferner eine Startvorrichtung umfasst, in der Startwinkel eingespeichert sind, wobei die Startvorrichtung mit dem Winkeleingang verbunden ist, um an diesem die Startwinkel zu übertragen.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, die ferner einen Subtrahierer umfasst, der eingerichtet ist, den Differenzbetrag zwischen zwei Spitzenwerten zu vergleichen, wobei eine Doppelwinkelvorrichtung aus dem an dem Winkeleingang anliegenden Winkelsignal zwei verschiedene Winkelsignale an einem Doppelwinkelausgang erzeugt, die um den gleichen Winkeldifferenzbetrag von dem am Winkeleingang anliegenden Winkelsignal abweichen, und der Winkeleingang mit der Doppelwinkelvorrichtung verbunden ist, wo-

durch die Ansteuervorrichtung zwei Spannungsimpulse gemäß den zwei verschiedenen Winkelsignalen erzeugt.

1 / 3

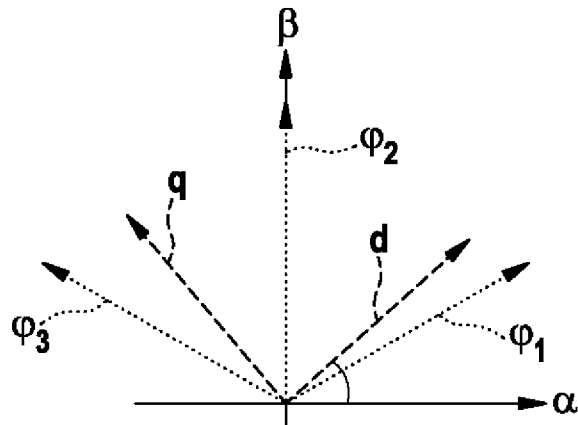


Fig. 1a

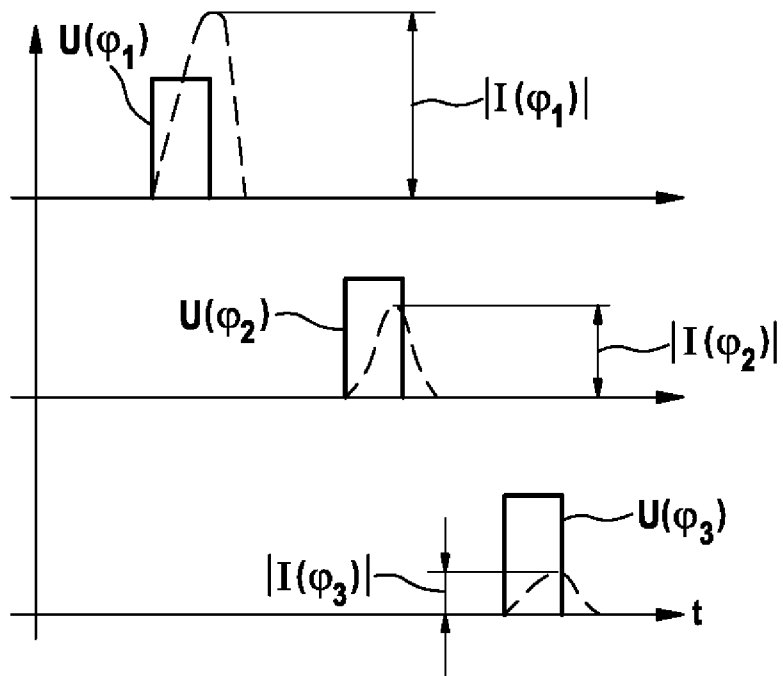


Fig. 1b

2 / 3

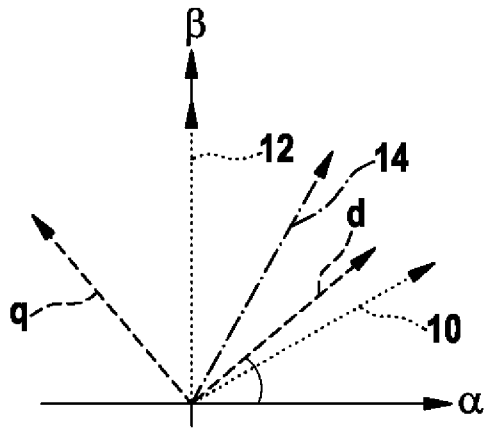


Fig. 2a

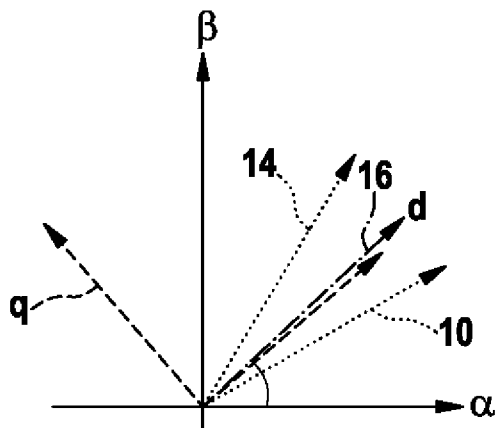


Fig. 2b

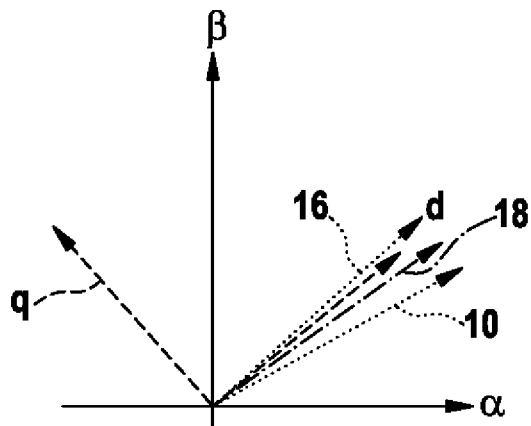


Fig. 2c

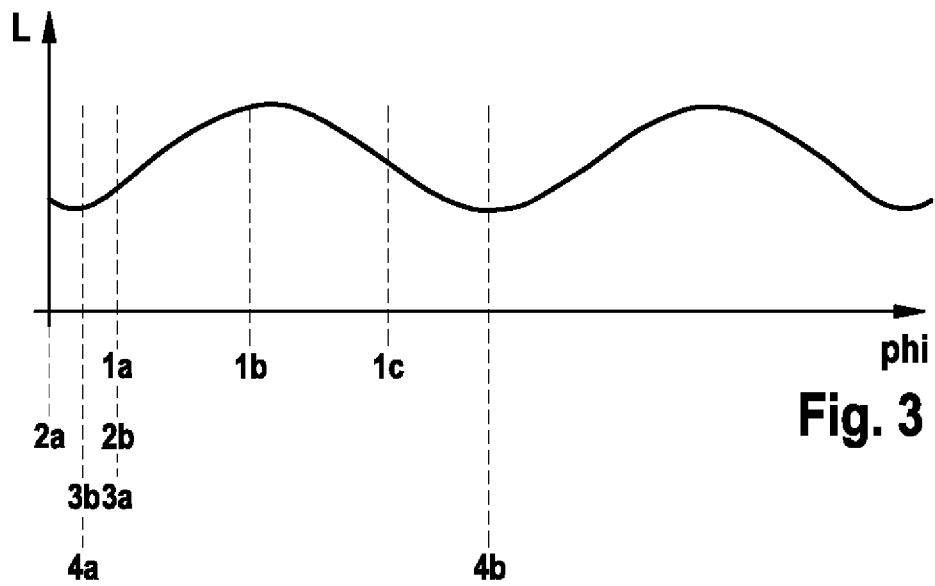


Fig. 3

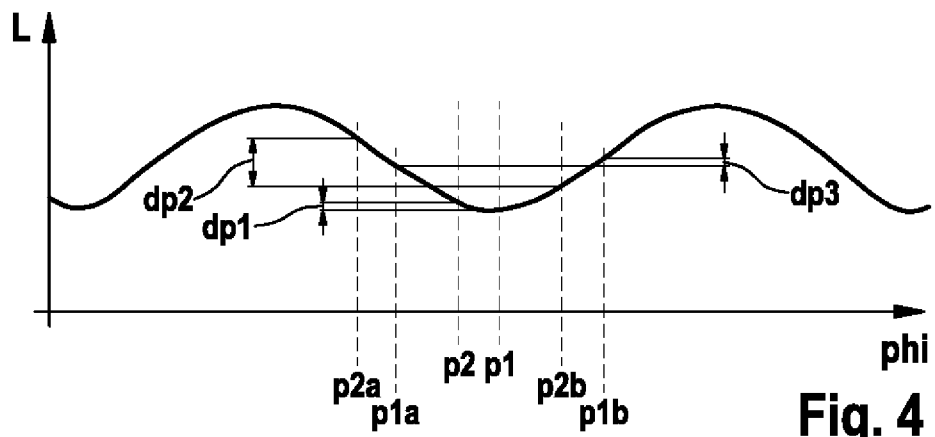


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/060589

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H02P6/18 H02P6/20 H02P1/46		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/046043 A (CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG [DE]; STAUDER PETER [DE]; KAUFMANN TOM []) 19 May 2005 (2005-05-19) page 6, line 21 - page 9, line 3; figures 1-3	1-10
A	WO 03/036788 A (ABB OY [FI]; NEUVONEN MIKA [FI]) 1 May 2003 (2003-05-01) paragraph [0015] - paragraph [0022]; figures 1-3	1-10
A	US 2008/067964 A1 (MAEDA NORIHIRO [JP] ET AL) 20 March 2008 (2008-03-20) paragraph [0031] - paragraph [0039]; figure 4	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
4 November 2009	12/11/2009	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040. Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Davis, Alan	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2009/060589

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2005046043 A	19-05-2005	EP 1683261 A1	26-07-2006
		JP 2007511190 T	26-04-2007
		US 2007252587 A1	01-11-2007
WO 03036788 A	01-05-2003	EP 1449295 A1	25-08-2004
		FI 20012060 A	25-04-2003
		US 2004239285 A1	02-12-2004
US 2008067964 A1	20-03-2008	CN 1943103 A	04-04-2007
		WO 2005114828 A1	01-12-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/060589

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02P6/18 H02P6/20 H02P1/46

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02P.

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen.

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2005/046043 A (CONTINENTAL TEVES AG & CO OHG [DE]; STAUDER PETER [DE]; KAUFMANN TOM []) 19. Mai 2005 (2005-05-19) Seite 6, Zeile 21 - Seite 9, Zeile 3; Abbildungen 1-3	1-10
A	WO 03/036788 A (ABB OY [FI]; NEUVONEN MIKA [FI]) 1. Mai 2003 (2003-05-01) Absatz [0015] - Absatz [0022]; Abbildungen 1-3	1-10
A	US 2008/067964 A1 (MAEDA NORIHIRO [JP] ET AL) 20. März 2008 (2008-03-20) Absatz [0031] - Absatz [0039]; Abbildung 4	1-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. November 2009

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/11/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5816 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Davis, Alan

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/060589

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2005046043 A	19-05-2005	EP 1683261 A1	26-07-2006
		JP 2007511190 T	26-04-2007
		US 2007252587 A1	01-11-2007
WO 03036788 A	01-05-2003	EP 1449295 A1	25-08-2004
		FI 20012060 A	25-04-2003
		US 2004239285 A1	02-12-2004
US 2008067964 A1	20-03-2008	CN 1943103 A	04-04-2007
		WO 2005114828 A1	01-12-2005