

(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
27. Juni 2024 (27.06.2024)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/132016 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01R 31/34 (2020.01) H02P 21/34 (2016.01)
H02P 21/18 (2016.01) H02P 25/022 (2016.01)
H02P 21/32 (2016.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2023/100905

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. November 2023 (22.11.2023)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2022 134 034.1
20. Dezember 2022 (20.12.2022) DE

(71) Anmelder: SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG &
CO. KG [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenau-
rach (DE).

(72) Erfinder: HODRUS, Erhard; Am Klinikum 27, 77855
Achern (DE). EBERLE, Christian; Südhangweg 6, 77815
Bühl (DE).

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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD,
SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY,
KG, KZ, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(54) Title: CHECK OF THE ANISOTROPY OF THE INDUCTANCE OF AN ELECTRIC MOTOR DURING END-OF-LINE COM-
MISSIONING

(54) Bezeichnung: PRÜFUNG DER ANISOTROPIE DER INDUKTIVITÄT EINES ELEKTROMOTORS BEI DER
INBETRIEBNAHME AM BANDENDE

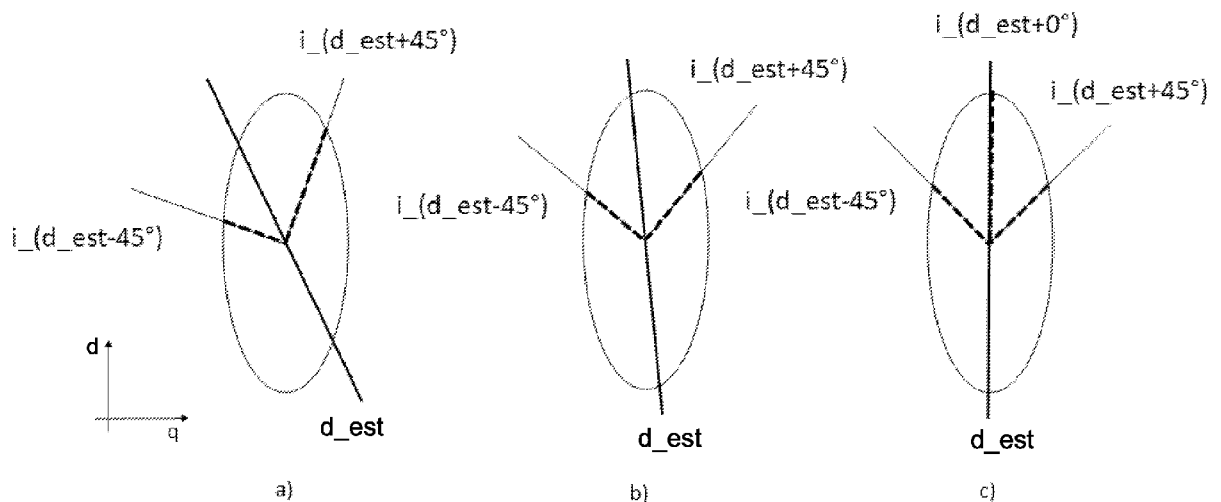


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method for determining and/or ascertaining a length difference between a d-axis and a q-axis of an ellipse, in particular for checking the anisotropy of an inductance of an electric motor during end-of-line commissioning. The invention also relates to a device, in particular a control unit, to an electric machine and to a computer program product.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen und/ oder Ermitteln eines Längenunterschieds zwischen einer d-Achse und einer q-Achse einer Ellipse, insbesondere zum Überprüfen der Anisotropie einer Induktivität eines Elektromotors bei einer Inbetriebnahme an einem Bandende. Ferner betrifft die Offenbarung eine Vorrichtung, insbesondere eine Steuereinheit, eine elektrische Maschine sowie ein Computerprogrammprodukt.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2024/132016 A1

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*
- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Prüfung der Anisotropie der Induktivität eines Elektromotors bei der Inbetriebnahme am Bandende

Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen und/ oder Ermitteln eines Längenunterschieds zwischen einer d-Achse und einer q-Achse einer Ellipse, insbesondere zum Überprüfen der Anisotropie einer Induktivität eines Elektromotors bei einer Inbetriebnahme an einem Bandende. Ferner betrifft die Offenbarung eine Vorrichtung, insbesondere eine Steuereinheit, eine elektrische Maschine sowie ein Computerprogrammprodukt.

Beim sensorlosen Betrieb eines Elektromotors wird auf den Rotorlagesensor, mit dem gewöhnlich der aktuelle Winkel des Rotors bestimmt wird verzichtet. Man nutzt Stromsensordaten und gemessene bzw. geschätzte Phasenspannungen, um über ein Modell auf die Rotorlage und die Geschwindigkeit des Motors zu schließen.

Unter einer Drehzahlschwelle der absoluten Drehzahl ist es notwendig sogenannte Injektionssignale einzuspeisen, welche die Identifikation der Rotorlage und der Geschwindigkeit in diesem Drehzahlbereich unterstützen. Beginnend mit einem stehenden Rotor muss durch eine Initialisierungsroutine die Rotorlage bestimmt werden.

Die initiale Rotorlage kann durch Vorgabe einer Wechsellspannungsanregung, einer hochfrequenten Schwingung in d- und q-Spannung, für eine bestimmte Anzahl von Punkten auf einer Spannungskreisbahn ermittelt werden, indem die anregende Spannungsamplitude in eine resultierende Stromamplitude mündet. Durch die d- q- Koordinaten muss bei einer kreisförmigen Anregung in der Spannung im Strom eine Ellipse in der d-q-Ebene entstehen. Die Hauptachse der Ellipse entspricht dabei der d- Richtung. Diese Richtung der Hauptachse beschreibt damit den initialen Wert der Rotorlage.

Im Stand der Technik wird vorgeschlagen die längere Hauptachse der Ellipse, die der d-Achse entspricht, durch einen iterativen Regleransatz zu finden. Durch Aufprägen des Injektionssignals in der Spannung kann ein Strom gemessen werden. Dieser wird dabei aber nicht in die gedachte d-Richtung transformiert, sondern in die gedachte d-

- 2 -

45°-Richtung und die gedachte d+45°-Richtung. Dadurch können deutlich größere Amplituden im Strom erreicht werden im Vergleich zu einer Auswertung der Ströme in d- und q-Richtung, dort verschwindet der Strom in q-Richtung bei Finden der realen d-Achse. Die Erkennung wird so robuster gegenüber Störungen, speziell in dynamischen Situationen. Mit einer Bandpassfilterung wird anschließend die Amplitude des Injektionssignals im Strom bestimmt und die beiden Werte für $\pm 45^\circ$ miteinander verglichen. Der angenommenen Winkel wird dann so korrigiert, dass die beiden Amplituden in die Richtung $+45^\circ$ und -45° gleich groß werden. Die Korrektur wird im Vorzeichen so gewählt, dass dabei die längere Halbachse gefunden wird, also die d-Achse. Wird das Vorzeichen bei der Korrektur umgedreht, so findet der Algorithmus die kürzere Halbachse, also die q-Achse.

Bei aufgeklebten Magneten sind im Gegensatz zu vergrabenen Magneten die Induktivitäten L_d und L_q oft ähnlicher zueinander. Die Ellipse ist dann nicht so stark ausgeprägt und ähnelt eher einem Kreis.

Das Verfahren aus dem Stand der Technik fordert unterschiedliche Induktivitäten in d- und q- Richtung, da nur dann die Ellipse ausgeprägt ist. Die Ellipse soll auch bei einer schwachen Ausprägung sicher erkannt werden. Es soll eine Möglichkeit geschaffen werden, während der Inbetriebnahme das Verhältnis der Induktivitäten im System, von der später im Betrieb angeschlossenen Steuereinheit zu ermitteln und so die Induktivitäten zu bewerten. Damit sollen systemindividuelle Einflüsse der Strommessung und der Motorparameter berücksichtigt werden.

Es ist daher die objektiv technische Aufgabe der vorliegenden Offenbarung die Nachteile aus dem Stand der Technik zu beseitigen bzw. zumindest zu verbessern. Insbesondere ist vorgesehen, dass das Bestimmen des Anfangswinkels schneller und genauer erfolgt.

Die vorstehende Aufgabe wird gelöst durch die Aspekte des Anspruchs 1. In anderen Worten wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Bestimmen und/ oder Ermitteln eines Längenunterschieds zwischen einer d-Achse und einer q-Achse einer Ellipse,

insbesondere zum Überprüfen der Anisotropie einer Induktivität eines Elektromotors bei einer Inbetriebnahme an einem Bandende, wobei

die Ellipse in einer d-q-Ebene bei einer kreisförmigen Anregung in einer Spannung im Strom entsteht, und das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen einer elektrischen Maschine mit einem ruhenden Rotor,
- b) Bestimmen einer q-Achse, insbesondere einer kleinen Halbachse, einer Ellipse, mittels eines iterativen Verfahrens und Einstellen eines Winkeloffsets Γ_{q1} , und
- c) Bestimmen einer d-Achse, insbesondere einer großen Halbachse, einer Ellipse mittels eines iterativen Verfahrens und Einstellen eines Winkeloffsets Γ_{d1} , wobei die d-Achse und die q-Achse durch einen Vorzeichenwechsel in dem iterativen Verfahren gefunden werden,
- d) Analysen einer Amplitude der Stromantwort des injizierten Signals in der d-Richtung und der q-Richtung,
- e) Ermitteln eines Verhältnisses der Stromantwort in d-Richtung und q-Richtung, und
- f) Transformieren der Strangströme in $d-45^\circ$, $d+45^\circ$, $d+0^\circ$ sowie $q-45^\circ$, $q+45^\circ$ und $q+0^\circ$.

Insbesondere umfasst das Verfahren zur Bestimmung einer initialen Rotorlage eines Rotors einer elektrischen Maschine, insbesondere einer elektrischen Synchronmaschine, die folgenden Schritte:

- a) Bereitstellung einer elektrischen Maschine mit einem ruhenden Rotor,
- b) Bereitstellung eines Startwerts d_{est} , welcher einen ersten Winkel der Rotorlage repräsentiert,
- c) Erzeugung einer dreiphasigen Wechselspannungsanregung in der elektrischen Maschine durch Vorgabe einer Wechselspannung in d_{est} -Richtung,
- d) Umrechnung der dreiphasigen Stromantwort auf die Wechselspannungsanregung der elektrischen Maschine für einen ersten modifizierten Wert $d_{est}-45^\circ$ in einen ersten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}-45^\circ]}$,

- 4 -

- e) Umrechnung der dreiphasigen Stromantwort auf die Wechselspannungsanregung der elektrischen Maschine für einen zweiten modifizierten Wert $d_{est}+45^\circ$ in einen zweiten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}+45^\circ]}$,
- f) Berechnung der Länge eines d- und q-Anteile aufweisenden ersten Wechselstromvektors für den ersten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}-45^\circ]}$,
- g) Berechnung der Länge eines d- und q-Anteile aufweisenden zweiten Wechselstromvektors für den zweiten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}+45^\circ]}$,
- h) Bestimmung der Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor gemäß $\Delta i = |i_{[d_{est}+45^\circ]}| - |i_{[d_{est}-45^\circ]}|$,
- i) Bei Vorliegen der Bedingung, dass die Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor innerhalb eines definierten Intervalls zwischen und einem definierten Fehlertoleranzwerts FTW liegt, gemäß $\Delta i = |i_{[d_{est}+45^\circ]}| - |i_{[d_{est}-45^\circ]}| = [0-FTW]$, Bereitstellung des initialen Rotorwinkels zur Bestromung der elektrischen Maschine und Beendigung des Verfahrens,
- j) Bei Vorliegen der Bedingung, dass die Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor $\Delta i = |i_{[d_{est}+45^\circ]}| - |i_{[d_{est}-45^\circ]}| > 0$ beträgt,
- k) Für den Fall, dass $|i_{[d_{est}+45^\circ]}| > |i_{[d_{est}-45^\circ]}|$, Anpassung des Startwerts d_{est} in der Art, dass der die Rotorlage repräsentierende Winkel im Uhrzeigersinn um einen vorbestimmten Betrag gedreht ist und
- l) Für den Fall, dass $|i_{[d_{est}+45^\circ]}| < |i_{[d_{est}-45^\circ]}|$, Anpassung des Startwerts d_{est} in der Art, dass der die Rotorlage repräsentierende Winkel gegen den Uhrzeigersinn um einen vorbestimmten Betrag gedreht ist,
- m) Wiederholen der Schritte c)-l).

In anderen Worten können die Schritte a) und b) der vorliegenden Offenbarung durch Ausführen des vorstehenden Verfahrens erfolgen. Auf diese Weise ist zumindest die d-Achse bestimmt werden. Das Bestimmen der q-Achse gemäß Schritt c) des beanspruchten Verfahrens kann ebenfalls mittels dem vorstehenden Verfahren erfolgen, wobei das Vorzeichen bei der Korrektur entsprechend umgedreht wird, um die kürzere Halbachse, also die q-Achse, zu finden/ zu bestimmen.

Anders ausgedrückt, soll zuerst die kleine Halbachse der Ellipse gefunden werden. Dabei stellt sich der Winkeloffset Γ_{q1} ein. Hierzu wird das vorstehende Verfahren mit den Schritten a) bis m) mit dem anderen Vorzeichen bei der Winkelkorrektur genutzt. Danach wird die große Halbachse gefunden. Hierbei wird der Winkeloffset Γ_{d1} gefunden. Hier handelt es sich ebenfalls um das vorstehende Verfahren mit den Schritten a) bis m).

Es ist bevorzugt, wenn Γ_{d1} und Γ_{q1} sich um im Wesentlichen $\pm 90^\circ$ unterscheiden. In anderen Worten sollte der Unterschied zwischen Γ_{d1} und Γ_{q1} sich zu annähernd 90° oder -90° ergeben, da die Annahme ist, dass sich die d- und q-Achse im rechten Winkel schneiden.

Ist die d- und q-Achse mit dem Algorithmus aus dem Verfahren mit den Schritten a) bis m) unter Ausnutzung des Vorzeichenwechsels im Algorithmus gefunden, wird die Amplitude der Stromantwort des injizierten Signals in d- und q-Richtung analysiert. Daraus kann das Verhältnis von der Stromantwort in d- und q-Richtung ermittelt werden, diese Werte repräsentieren Induktivitätsdaten L_d und L_q . Es müssen bei gefundener Achse dann die Strangströme nicht nur in $d-45^\circ$ und $d+45^\circ$ sondern auch in $d+0^\circ$ transformiert werden. Gleiches gilt für die q-Achse. Sind die Amplituden der Ströme in d- und q zu ähnlich, dann kann der Motor ggf. aussortiert werden.

Es ist von Vorteil, wenn die Schritte b) bis f) beliebig oft wiederholbar sind. Insbesondere zur Absicherung des Ergebnisses kann dieser Vorgang auch mehrmals wiederholt werden.

Es ist vorteilhaft, wenn ein Startwert q_{est} und/ oder d_{est} beim Wiederholen des Verfahrens, insbesondere der Schritte b) bis f) nach einem Zufallsprinzip gewählt ist.

Es ist bevorzugt, wenn die bestimmte d-Achse nach Durchführen der Schritte a) und b) als Startwert für das Bestimmen der q-Achse vorgesehen ist.

Es ist von Vorteil, wenn die Kreisbahn zumindest einmal umlaufen wird, um genau 4 Lösungen, insbesondere $-d$ - und $+d$ -Achse sowie $-q$ - und $+q$ Achse zu finden.

In anderen Worten, da der Algorithmus bzw. das Verfahren den nächsten Winkel als Lösung sucht, bei dem die beiden $+45^\circ$ und -45° Stromamplituden gleich lang sind, kann es Sinn machen, die Startwerte der gedachten Achsen bei Wiederholungen zufällig zu wählen. Günstig ist aber auch zuerst eine Achse zu finden und dies als gedachten Startwert für die nächste Achse zu definieren. Ideal ist, wenn der Algorithmus die Kreisbahn einmal sicher umläuft und dabei nur die 4 Lösungen $-q$ - und $+q$ -Achse und $-d$ und $+d$ -Achse findet.

Es ist vorteilhaft, wenn aus einem Vergleich der Induktivitäten aus der Inbetriebnahme am Bandende auf eine Demagnetisierung der Magnete geschlossen werden kann. Für den Betrieb des Motors wird anschließend das standardisierte Verfahren für die Winkelinitialisierung durchgeführt und die lange Halbachse gesucht. Mit diesem Startwert für den Winkel wird die 180° Unsicherheit nach dem Verfahren mit den Schritten a) bis m) aufgelöst.

Alternativ kann auch der die Prüfung beim Steuergerätehochlauf bei jeder Nutzung des Fahrzeugs erfolgen. Aus einem Vergleich zu den Induktivitäten aus der Inbetriebnahme am Bandende kann so z.B. auf eine Demagnetisierung der Magnete geschlossen werden. Im Prinzip sind schwächere Magnete kritischer für den ungewollten Gleichfall $L_d=L_q$, da die Vorsättigung des Eisens kleiner wird. Eine Veränderung kann so z.B. zu einem Besuch in der Werkstatt zum Tausch der Teile einladen.

Ferner betrifft die vorliegende Offenbarung eine Vorrichtung, insbesondere eine Steuereinheit zur Steuerung und Bestromung einer elektrischen Maschine, zum Durchführen des Überwachungsverfahrens gemäß einem der vorstehenden Aspekte.

Ferner betrifft die vorliegende Offenbarung eine elektrische Maschine, insbesondere einer elektrischen Synchronmaschine, umfassend einen Stator und einen relativ zum Stator drehbaren Rotor sowie eine Vorrichtung zur Steuerung und Bestromung der

elektrischen Maschine. Hierbei ist es bevorzugt, wenn die Vorrichtung nach dem vorstehenden Aspekt ausgebildet ist.

Schließlich betrifft die vorliegende Offenbarung ein Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit Programmcode, der geeignet ist zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Aspekte.

Nachfolgend wird die vorliegende Offenbarung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert werden.

Figur 1 verschiedene Lagen der d-Achse in einem d/q-Koordinatensystem,

Figur 2 verschiedene Lagen der q-Achse in einem d/q-Koordinatensystem,

Figur 3 elektrische Maschine in einer schematischen Darstellung,

Figur 4 Kraftfahrzeuge mit je einem hybriden und einem vollelektrisch betreibbaren Antriebsstrang in einer schematischen Darstellung.

Anhand der Figur 1 wird nachfolgend das Verfahren zur Bestimmung einer initialen Rotorlage eines Rotors 1 einer elektrischen Maschine 2, insbesondere einer elektrischen Synchronmaschine, näher erläutert.

Zunächst erfolgt eine Bereitstellung einer elektrischen Maschine 2 mit einem ruhenden Rotor 1, wie es exemplarisch auf in der Figur 3 gezeigt ist. Mittels der Steuereinheit 3 wird in der elektrischen Maschine 2 dann eine dreiphasige Wechselspannungsanregung in der elektrischen Maschine 2 erzeugt, was in der Figur 3 auch mit den drei parallel verlaufenden gestrichelten Linien zwischen der Steuereinheit 3 und dem bestromten Stator 7 angedeutet ist.

Zuerst erfolgt die Bereitstellung eines zufälligen Startwerts d_{est} , welcher einen ersten Winkel der Rotorlage repräsentiert. Auf der Basis dieses Startwerts d_{est} wird die Wechselspannungsanregung in d_{est} -Richtung angelegt. Der dreiphasige Strom wird gemessen und in die $d_{est}-45^\circ$ -Richtung transformiert, es wird der modifizierte Wert $d_{est}-45^\circ$ berechnet. Analog hierzu erfolgt die Berechnung eines zweiten modifizierten Werts $d_{est}+45^\circ$ welcher dem Startwert d_{est} plus 45° entspricht.

Anschließend erfolgt eine Umrechnung der dreiphasigen Stromantwort auf die Wechselspannungsanregung der elektrischen Maschine 2 für den ersten modifizierten Wert $d_{est}-45^\circ$ in einen ersten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}-45^\circ]}$, sowie die Umrechnung der dreiphasigen Stromantwort auf die Wechselspannungsanregung der elektrischen Maschine für den zweiten modifizierten Wert $d_{est}+45^\circ$ in einen zweiten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}+45^\circ]}$.

Diese beiden Wechselstromanteile sind in den Abbildungen a)-c) der Figur 1 abgebildet. Nun wird die Berechnung der Länge eines d- und q-Anteile aufweisenden ersten Wechselstromvektors für den ersten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}-45^\circ]}$ durchgeführt, sowie die Berechnung der Länge eines d- und q-Anteile aufweisenden zweiten Wechselstromvektors für den zweiten Wechselstromanteil $i_{[d_{est}+45^\circ]}$.

In der Figur 1 sind schematisch entsprechende Ellipsen in der realen d-q-Ebene dargestellt. Die „geschätzte“ d-Achse d_{est} ist eingezeichnet und stimmt dabei nicht mit der Richtung der d-Achse der d-q-Ebene überein. Passend zur geschätzten Richtung der d-Achse, sind die Wechselstromanteile $i_{(d_{est}+45^\circ)}$ und $i_{(d_{est}-45^\circ)}$ eingezeichnet.

Dann wird die Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor gemäß $\Delta i = |i_{d_{est}+45^\circ}| - |i_{d_{est}-45^\circ}|$ bestimmt.

Bei Vorliegen der Bedingung, dass die Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor $\Delta i = |i_{d_{est}+45^\circ}| - |i_{d_{est}-45^\circ}| > 0$ beträgt, was in den Abbildungen a) und b) der Figur 1 zu sehen ist, wird zwischen zwei weiteren Alternativen unterschieden.

Für den ersten Fall, dass $|i_{d_est}+45^\circ| > |i_{d_est}-45^\circ|$ ist, erfolgt eine Anpassung des Startwerts d_est in der Art, dass der die Rotorlage repräsentierende Winkel im Uhrzeigersinn um einen vorbestimmten Betrag gedreht ist, was in den Abbildungen a) und b) gezeigt ist.

Anhand der Abbildungen a) und b) in der Figur 1 ist also gut zu erkennen, dass die Längen der Wechselstromanteile unterschiedlich lang sind. Daher muss die „geschätzte“ d-Achse (d_est) um ein Stück im Uhrzeigersinn verdreht werden. Diese neue „geschätzte“ d-Richtung ist dann der neue Startwert für die nächste Iteration. In Abbildung b) der Figur 1 ist eine der nächsten Iterationen dargestellt.

Für den zweiten Fall, dass $|i_{d_est}+45^\circ| < |i_{d_est}-45^\circ|$ ist, wird eine Anpassung des Startwerts d_est in der Art vorgenommen, dass der die Rotorlage repräsentierende Winkel gegen den Uhrzeigersinn um einen vorbestimmten Betrag gedreht wird, was aber nicht in der Figur 1 gezeigt ist.

Diese Iterationen wird so lange durchgeführt, bis die Bedingung erfüllt wird, dass die Differenz der Beträge der Längen zwischen dem ersten Wechselstromvektor und dem zweiten Wechselstromvektor innerhalb eines definierten Intervalls zwischen 0 und einem definierten Fehlertoleranzwerts FTW liegt, gemäß $\Delta_i = |i_{d_est}+45^\circ| - |i_{d_est}-45^\circ| = [0-FTW]$.

Mit anderen Worten wird der Vorgang so lange wiederholt, bis die Projektionen der Wechselstromanteile und damit die Längen der Absolutwerte der Wechselstromanteile gleich lang sind. Aus dem Winkel der „geschätzten“ d-Achse lässt sich dann einfach der initiale Winkel der Rotorlage ermitteln. Dies ist in der Abbildung c) der Figur 1 zu erkennen. Dann erfolgt auf dieser Grundlage die Bereitstellung des initialen Rotorwinkels zur Bestromung der elektrischen Maschine und Beendigung des Verfahrens.

Nach dieser initialen Winkelbestimmung ist die d-Achse bekannt und die elektrische Maschine 2 kann in die gewollte Drehrichtung angedreht werden. Ein auch nur kurzzeitiges Drehen der elektrischen Maschine im motorischen Betrieb in eine falsche Richtung kann so verhindert werden. Einen möglichen „180° Fehler“ muss - wie beim aus dem

Stand der Technik bekannten Verfahren - noch mit einem geeigneten Standardverfahren ermittelt und beseitigt werden.

Die Figur 2 entspricht nahezu der Figur 1, wobei hier die kurze Halbachse der Ellipse, also die Halbachse in Richtung q gesucht wird. Demnach wird hier auf eine weitere Beschreibung verzichtet, da die vorstehende Beschreibung auf Fig. 2 lesbar ist, bis auf die Ausnahme, dass es gilt das „d“ durch ein „q“ zu ersetzen.

Wie in der Figur 3 dargestellt ist, umfasst die Steuereinheit 3 zur Steuerung und Bestromung der elektrischen Maschine 2 einen Prozessor 4 und einen Speicher 5, der einen Computerprogrammcode enthält, wobei der Speicher 5 und der Computerprogrammcode konfiguriert sind, mit dem Prozessor 4, die Steuereinheit 3 zur Durchführung des obenstehenden Verfahrens zu veranlassen.

Anders als in der Figur 3 gezeigt, weist die Steuereinheit 3 bevorzugt keinen Anschluss für einen Rotorlagesensor 6 zur Erfassung der Rotorlage des Rotors 1 auf und kann gerberlos geregelt werden. Die in der Figur 3 dargestellte elektrische Maschine 2 besitzt einen bestrombaren Stator 7 und einen relativ zum Stator 7 drehbaren Rotor 1 sowie die Steuereinheit 3 zur Steuerung und Bestromung der elektrischen Maschine 2 bzw. des Stators 7.

Die elektrische Maschine 2 ist insbesondere zur Verwendung in einem elektrisch betreibbaren oder hybriden Antriebsstrang 8 eines Kraftfahrzeugs 9 konfiguriert, wie es auch in der Figur 4 skizziert ist.

Die vorliegende Offenbarung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Patentansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Patentansprüche und die vorstehende Beschreibung 'erste' und 'zweite' Merkmal definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Merkmale, ohne eine Rangfolge festzulegen.

Bezugszeichenliste

- 1 Rotor
- 2 elektrische Maschine
- 3 Steuereinheit
- 4 Prozessor
- 5 Speicher
- 6 Rotorlagesensor
- 7 Stator
- 8 Antriebsstrang
- 9 Kraftfahrzeug

Ansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen und/ oder Ermitteln eines Längenunterschieds zwischen einer d-Achse und einer q-Achse einer Ellipse, insbesondere zum Überprüfen der Anisotropie einer Induktivität eines Elektromotors bei einer Inbetriebnahme an einem Bandende, wobei

die Ellipse in einer d-q-Ebene bei einer kreisförmigen Anregung in einer Spannung im Strom entsteht, und das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- g) Bereitstellen einer elektrischen Maschine mit einem ruhenden Rotor,
- h) Bestimmen einer d-Achse, insbesondere einer kleinen Halbachse, einer Ellipse, mittels eines iterativen Verfahrens und Einstellen eines Winkeloffsets Γ_{q1} , und
- i) Bestimmen einer q-Achse, insbesondere einer großen Halbachse, einer Ellipse mittels eines iterativen Verfahrens und Einstellen eines Winkeloffsets Γ_{d1} , wobei die d-Achse und die q-Achse durch einen Vorzeichenwechsel in dem iterativen Verfahren gefunden werden,
- j) Analysen einer Amplitude der Stromantwort des injizierten Signals in der d-Richtung und der q-Richtung,
- k) Ermitteln eines Verhältnisses der Stromantwort in d-Richtung und q-Richtung, und
- l) Transformieren der Strangströme in $d-45^\circ$, $d+45^\circ$, $d+0^\circ$ sowie $q-45^\circ$, $q+45^\circ$ und $q+0^\circ$.

2. Überprüfungsverfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** Γ_{d1} und Γ_{q1} sich um im Wesentlichen $\pm 90^\circ$ unterscheiden.

3. Überprüfungsverfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte b) bis f) beliebig oft wiederholbar sind.

4. Überprüfungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Startwert q_{est} und/ oder d_{est} beim Wiederholen des Verfahrens, insbesondere der Schritte b) bis f) nach einem Zufallsprinzip gewählt ist.

5. Überprüfungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die bestimmte d-Achse nach Durchführen der Schritte a) und b) als Startwert für das Bestimmen der q-Achse vorgesehen ist.

6. Überprüfungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kreisbahn zumindest einmal umlaufen wird, um genau 4 Lösungen, insbesondere $-d$ - und $+d$ -Achse sowie $-q$ - und $+q$ Achse zu finden.

7. Überprüfungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus einem Vergleich der Induktivitäten aus der Inbetriebnahme am Bandende auf eine Demagnetisierung der Magnete geschlossen werden kann.

8. Vorrichtung, insbesondere eine Steuereinheit zur Steuerung und Bestromung einer elektrischen Maschine, zum Durchführen des Überwachungsverfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8.

9. Elektrische Maschine, insbesondere einer elektrischen Synchronmaschine, umfassend einen Stator und einen relativ zum Stator drehbaren Rotor sowie eine Vorrichtung zur Steuerung und Bestromung der elektrischen Maschine, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung nach Anspruch 8 ausgebildet ist.

10. Computerprogrammprodukt, das auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, oder Computer-Datensignal, verkörpert durch eine elektromagnetische Welle, mit Programmcode, der geeignet ist zur Durchführung des Verfahrens nach Ansprüche 1 bis 8.

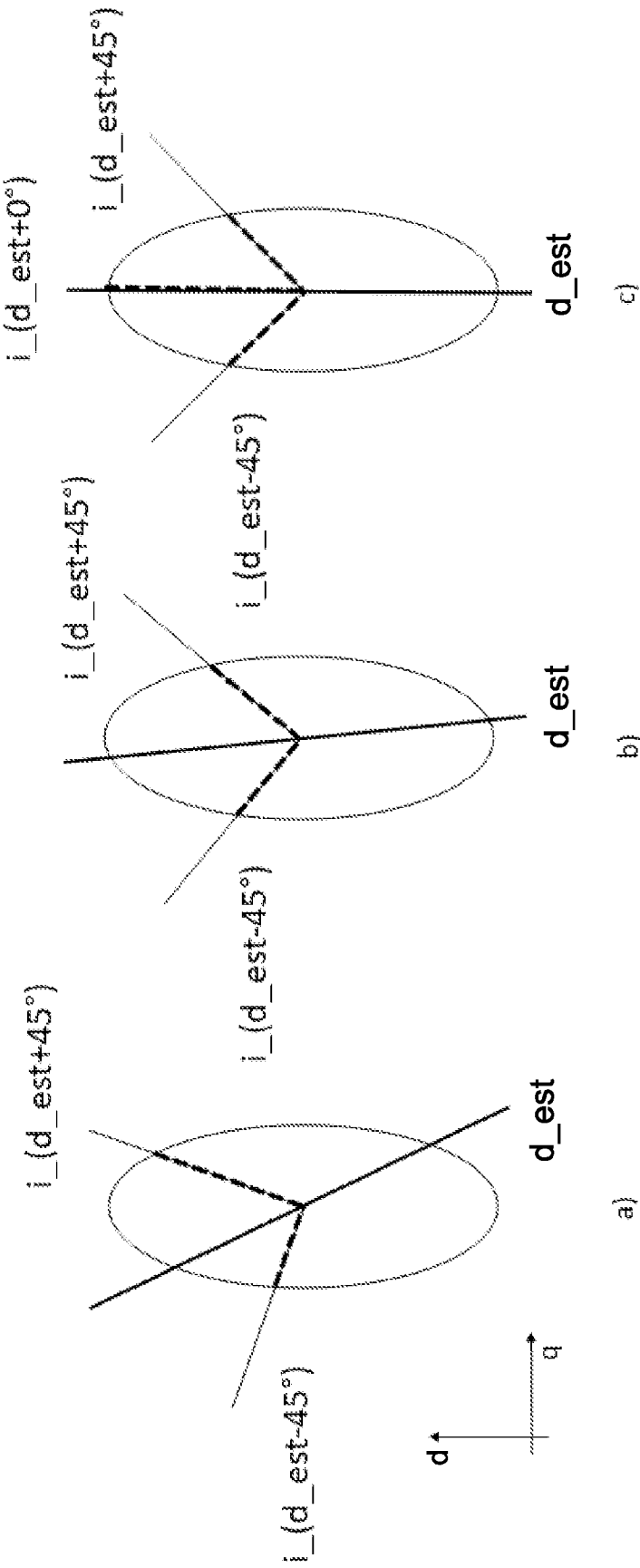


Fig. 1

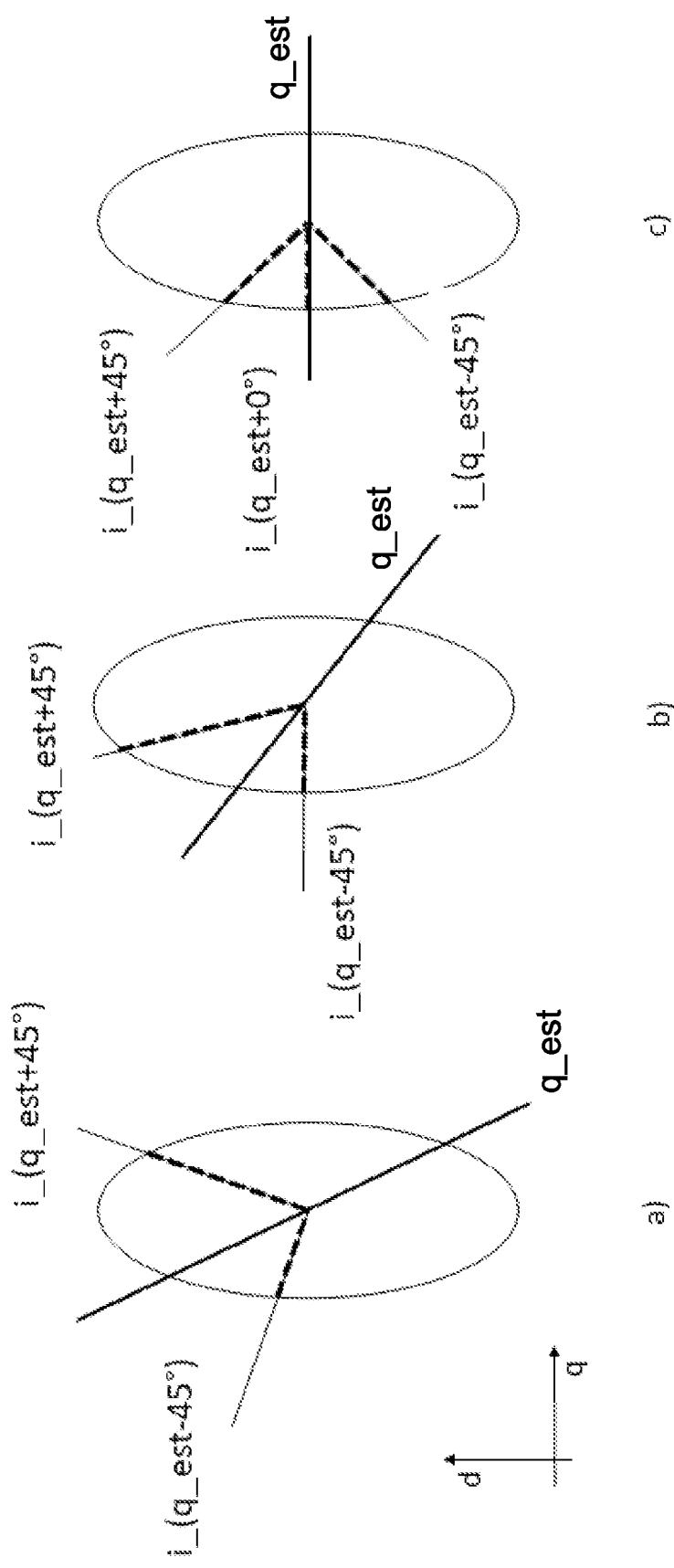


Fig. 2

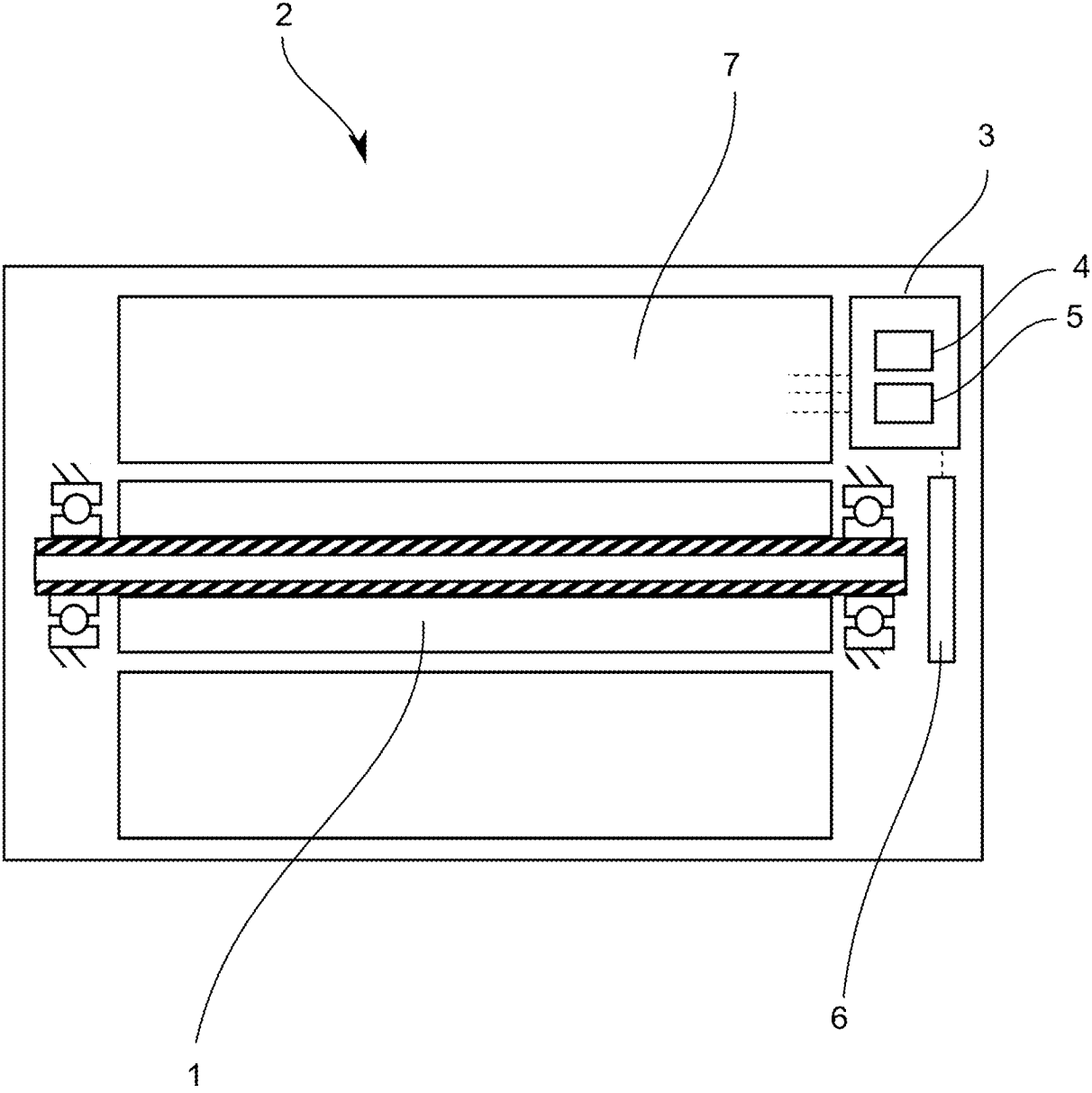


Fig. 3

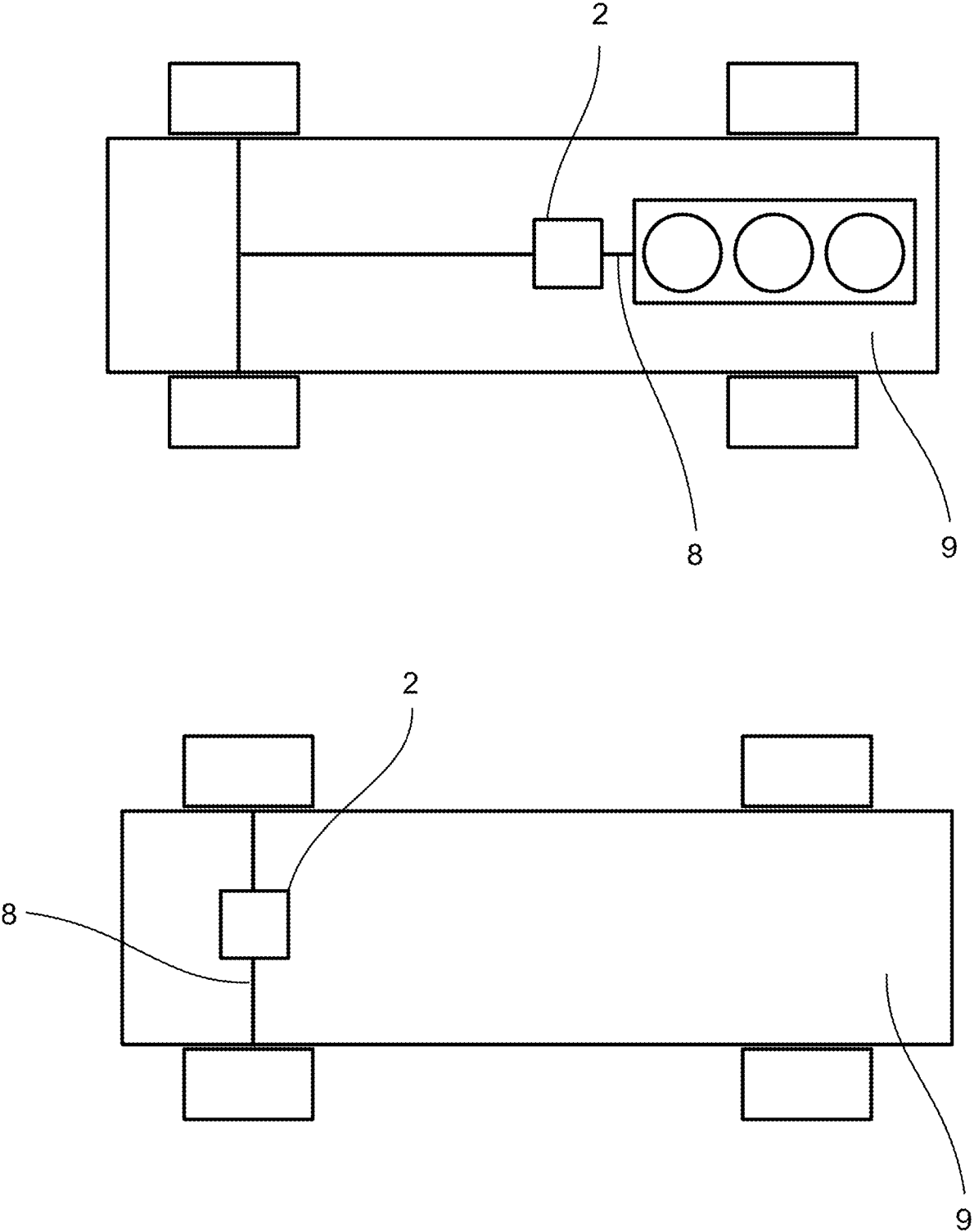


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE2023/100905

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01R 31/34**(2020.01)i; **H02P 21/18**(2016.01)i; **H02P 21/32**(2016.01)i; **H02P 21/34**(2016.01)i; **H02P 25/022**(2016.01)i

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)

G01R; 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 practicable, 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	DE 102021109779 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 20 October 2022 (2022-10-20) paragraph [0011] - paragraph [0048] figures 1-3	1-10
A	BERTO MATTEO ET AL. "An Effective Ellipse Fitting Technique of the Current Response Locus to Rotating HF Voltage Injection in IPMSM for Sensorless Rotor Position Estimation" <i>IECON 2018 - 44TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, IEEE</i> , 21 October 2018 (2018-10-21), pages 391-396 DOI: 10.1109/IECON.2018.8591855 XP033486404 section II; page 392, left-hand column, paragraph 2	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ 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 application or patent 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

13 February 2024

Date of mailing of the international search report

27 February 2024

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Sedlmaier, Stefan

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/DE2023/100905

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102021109779	A1	20 October 2022	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2023/100905

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	G01R31/34	H02P21/18
		H02P21/32
		H02P21/34
		H02P25/022
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
G01R 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	DE 10 2021 109779 A1 (SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG [DE]) 20. Oktober 2022 (2022-10-20) Absatz [0011] – Absatz [0048] Abbildungen 1-3	1-10
A	----- BERTO MATTEO ET AL: "An Effective Ellipse Fitting Technique of the Current Response Locus to Rotating HF Voltage Injection in IPMSM for Sensorless Rotor Position Estimation", IECON 2018 – 44TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY, IEEE, 21. Oktober 2018 (2018-10-21), Seiten 391-396, XP033486404, DOI: 10.1109/IECON.2018.8591855 [gefunden am 2018-12-26] Section II; Seite 392, linke Spalte, Absatz 2 -----	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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
13. Februar 2024		27/02/2024
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Sedlmaier, Stefan

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2023/100905

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102021109779 A1	20-10-2022	KEINE	