

(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
12. Januar 2017 (12.01.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/005755 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 6/18 (2016.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/065880

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Juli 2016 (05.07.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 212 812.1 8. Juli 2015 (08.07.2015) DE

(71) Anmelder: **CONTI TEMIC MICROELECTRONIC GMBH** [DE/DE]; Sieboldstraße 19, 90411 Nürnberg (DE).

(72) Erfinder: **SCHNELL, Andreas**; Pfaffenholz 2, 91126 Kammerstein (DE). **WINKLER, Michael**; Straßberg 37, 91056 Erlangen (DE). **IORDACHE, Emanoil**; Main Street 56, 227125 Corcova (RO).

(74) Anwalt: **BONN, Roman**; c/o Continental Automotive GmbH, Postfach 22 16 39, 80506 München (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPERATION OF A ROTATING ELECTRICAL MACHINE COMPRISING TWO POSITION SENSORS

(54) Bezeichnung : BETRIEB EINER ROTIERENDEN ELEKTRISCHEN MASCHINE MIT ZWEI POSITIONSENSOREN

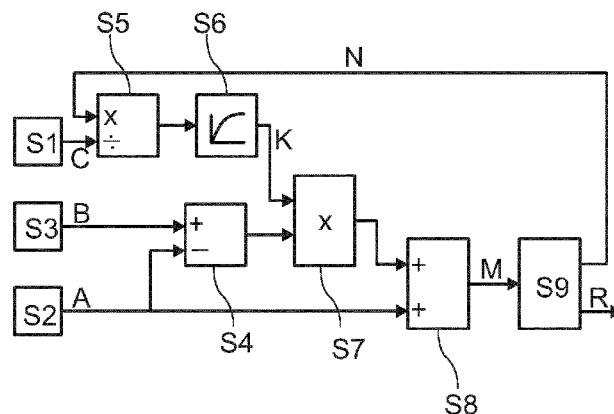


FIG 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for operating a rotating electrical machine (1) comprising a rotor (3), a polyphase field winding (5) and a commutation apparatus (9) for commutating field winding currents of the field winding (5) depending on rotor position values (R) for rotor positions of the rotor (3). First measurement values (A) for the rotor positions are detected by means of a first sensor apparatus (13) and second measurement values (B) for the rotor positions are detected by means of a second sensor apparatus (15). The rotor position values (R) are formed from weighted average values (M) of the first measurement values (A) and of the second measurement values (B) for the commutation of the field winding currents. The first sensor apparatus (13) has a higher resolution of the rotor positions than the second sensor apparatus (15) in a first rotation speed range of rotor rotation speeds of the rotor (3), and the first measurement values (A) are weighted more heavily than the second measurement values (B) in the first rotation speed range when forming the weighted average values (M).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/005755 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine (1) mit einem Rotor (3), einer mehrphasigen Erregerwicklung (5) und einer Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3). Mittels einer ersten Sensorvorrichtung (13) werden erste Messwerte (A) für die Rotorstellungen erfasst und mittels einer zweiten Sensorvorrichtung (15) werden zweite Messwerte (B) für die Rotorstellungen erfasst. Die Rotorstellungswerte (R) werden für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) gebildet. Die erste Sensorvorrichtung (13) weist in einem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist, und die ersten Messwerte (A) werden in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten Messwerte (B) gewichtet.

Beschreibung

BETRIEB EINER ROTIERENDEN ELEKTRISCHEN MASCHINE MIT ZWEI
POSITIONSENSOREN

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer rot-
tierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer mehr-
phasigen Erregerwicklung und einer Kommutierungsvorrichtung zur
Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in
Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des
10 Rotors. Ferner betrifft die Erfindung eine Messvorrichtung zur
Durchführung des Verfahrens.

Bekannte Kommutierungsverfahren zur Steuerung und Regelung
mehrphasiger rotierender elektrischer Maschinen sind die so
15 genannte Sinuskommutierung und die so genannte Blockkommu-
tierung. Bei der Sinuskommutierung werden gegeneinander pha-
senverschobene, jeweils wenigstens näherungsweise sinusförmige
Erregerwicklungsströme erzeugt. Bei der Blockkommutierung
werden Erregerwicklungsströme erzeugt, die ebenfalls gegen-
20 einander phasenverschobene Verläufe aufweisen, jedoch jeweils
während einer Kommutierungsperiode näherungsweise konstant sind
und sich beim Übergang zwischen den Kommutierungsperioden
näherungsweise sprunghaft ändern.

25 Eine Sinuskommutierung ermöglicht insbesondere bei niedrigen
Rotordrehzahlen genauere Regelungen der Rotorstellungen und
bessere Gleichlauf- und Anlaufeigenschaften einer elektrischen
Maschine als eine Blockkommutierung, erfordert jedoch eine
aufwändigere Elektronik als eine Blockkommutierung. Bei hohen
30 Rotordrehzahlen hat eine Blockkommutierung in der Regel ge-
genüber einer Sinuskommutierung kaum Nachteile, ist jedoch
kostengünstiger realisierbar als eine Sinuskommutierung.

Daher wird eine Sinuskommutierung häufig nur bei niedrigen
35 Rotordrehzahlen eingesetzt, bei denen die Rotorstellungen
mittels einer hochauflösenden Sensorvorrichtung erfasst werden,
die relativ kostengünstig, jedoch für hohe Rotordrehzahlen zu
langsam ist. Bei höheren Rotordrehzahlen wird dagegen bevorzugt

eine Blockkommutierung eingesetzt. Wenn eine Sinuskommutierung bei niedrigen Rotordrehzahlen mit einer Blockkommutierung bei höheren Rotordrehzahlen kombiniert wird, wird beispielsweise bei dem Erreichen einer vorgegebenen Mindestdrehzahl zwischen
5 Sinuskommutierung und Blockkommutierung umgeschaltet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer mehrphasigen Erregerwicklung und einer
10 Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors anzugeben. Ferner liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

15 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und hinsichtlich der Vorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

20 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das erfindungsgemäße Verfahren betrifft den Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine mit einem Rotor, einer
25 mehrphasigen Erregerwicklung und einer Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors. Bei dem Verfahren werden mittels einer ersten Sensorvorrichtung erste Messwerte für die Rotorstellungen
30 und mittels einer zweiten Sensorvorrichtung zweite Messwerte für die Rotorstellungen erfasst. Die Rotorstellungswerte für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme werden aus gewichteten Mittelwerten der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte gebildet. Dabei weist die erste Sensorvorrichtung in einem ersten
35 Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung auf, und die ersten Messwerte werden in dem ersten Drehzahl-

bereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker als die zweiten Messwerte gewichtet.

Unter einer Rotordrehzahl wird hier eine Anzahl von Umdrehungen pro Zeiteinheit des Rotors der elektrischen Maschine verstanden, wobei diese Anzahl nicht negativ ist, d. h. es wird nicht, beispielsweise durch ein Vorzeichen der Rotordrehzahl, zwischen verschiedenen Drehrichtungen des Rotors unterschieden.

Das Verfahren sieht also vor, zur Ermittlung von Rotorstellungen des Rotors einer rotierenden elektrischen Maschine zwei Sensorvorrichtungen mit unterschiedlichen Auflösungsvermögen einzusetzen und die von den beiden Sensorvorrichtungen erfassten Messwerte geeignet zu kombinieren. Dazu werden in einem Drehzahlbereich, in dem eine erste Sensorvorrichtung eine höhere Auflösung als die zweite Sensorvorrichtung hat, von der ersten Sensorvorrichtung erfasste erste Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker gewichtet als von der zweiten Sensorvorrichtung erfasste zweite Messwerte. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht damit insbesondere, bei niedrigen Rotordrehzahlen die Messwerte einer die Rotorstellungen höher auflösenden ersten Sensorvorrichtung stärker zu gewichten als die Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung, während bei höheren Rotordrehzahlen die Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung stärker gewichtet werden. Dadurch können die Vorteile einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen bei niedrigen Rotordrehzahlen und einer kostengünstigeren zweiten Sensorvorrichtung mit einer schwächeren Auflösung der Rotorstellungen bei hohen Rotordrehzahlen kombiniert werden. Die Bildung gewichteter Mittelwerte aus den ersten und zweiten Messwerten ermöglicht es vorteilhaft, die relative Gewichtung der ersten und zweiten Messwerten in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl zu variieren und dadurch ein hartes Umschalten zwischen der Verwendung der ersten und zweiten Messwerte zu vermeiden, welches zu Drehmomentsprüngen und daraus resultierenden Geräuschentwicklungen führen kann.

Eine Ausgestaltung der Erfindung sieht dementsprechend vor, dass der erste Drehzahlbereich von der Drehzahl Null begrenzt wird. Dadurch werden vorteilhaft bei niedrigen Rotordrehzahlen, bei denen eine hohe Auflösung der Rotorstellungen benötigt wird, die
5 Messwerte einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen stärker gewichtet.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die zweite Sensorvorrichtung eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit von Sensorsignalen als die erste Sensorvorrichtung
10 aufweist. Auch diese Ausgestaltung ist darauf gerichtet, dass die zweite Sensorvorrichtung vorwiegend auf die Erfassung von Messwerten bei hohen Rotordrehzahlen, die eine schnellere Verarbeitung von Sensorsignalen erfordern, ausgelegt ist.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass eine Gewichtung der ersten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte eine monoton fallende und zumindest teilweise streng monoton fallende Funktion der Rotordrehzahl ist. Dementsprechend
15 sieht eine weitere Ausgestaltung der Erfindung vor, dass eine Gewichtung der zweiten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte eine monoton steigende und zumindest teilweise streng monoton steigende Funktion der Rotordrehzahl ist, die bei der Drehzahl Null verschwindet. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ferner ein Drehzahlschwellenwert
20 vorgegeben und eine Gewichtung der ersten Messwerte bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte derart gebildet, dass sie bei Rotordrehzahlen oberhalb des Drehzahlschwellenwerts verschwindet.

Die vorgenannten Ausgestaltungen sehen vor, die Gewichtungen der ersten und zweiten Messwerte in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl derart zu variieren, dass die Gewichtung der zweiten Messwerte gegenüber der Gewichtung der ersten Messwerte mit
25 zunehmender Rotordrehzahl zunimmt. Insbesondere sehen Ausgestaltungen der Erfindung vor, dass die zweiten Messwerte bei der Rotordrehzahl Null und die ersten Messwerte oberhalb eines Drehzahlschwellenwertes gar nicht zu den gewichteten Mittel-
30

werten beitragen. Dadurch wird vorteilhaft ermöglicht, die Rotorstellungswerte bei niedrigen Rotordrehzahlen hauptsächlich oder ausschließlich aus den ersten Messwerten einer ersten Sensorvorrichtung mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen und bei hohen Rotordrehzahlen hauptsächlich oder ausschließlich aus den zweiten Messwerten einer zweiten Sensorvorrichtung mit einer geringeren Auflösung der Rotorstellungen zu bilden und den Anteil der zweiten Messwerte an den gewichteten Mittelwerten mit zunehmender Rotordrehzahl gegenüber dem Anteil der ersten Messwerte zu steigern. Dies berücksichtigt, dass in der Regel nur für niedrige Rotordrehzahlen eine hohe Auflösung der Rotorstellungen für die Regelung der Kommutierung der Erregerwicklungsströme benötigt wird. Durch die Verwendung der Messwerte der zweiten Sensorvorrichtung bei hohen Rotordrehzahlen wird vermieden, dass eine kostspielige erste Sensorvorrichtung benötigt wird, die sich auch bei hohen Rotordrehzahlen zur Erfassung von Messwerten mit einer hohen Auflösung der Rotorstellungen eignet.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass Rotordrehzahlen des Rotors aus den erfassten ersten Messwerten und/oder zweiten Messwerten ermittelt werden. Diese Ausgestaltung der Erfindung sieht also vor, nicht nur die Rotorstellungswerte, sondern auch die Rotordrehzahlen des Rotors aus den ersten und/oder zweiten Messwerten zu ermitteln. Dadurch wird vorteilhaft kein separater Inkrementalgeber zur Erfassung der Rotordrehzahlen benötigt.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die gewichteten Mittelwerte der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte geglättet werden und die Rotorstellungswerte als die geglätteten gewichteten Mittelwerte gebildet werden. Die Glättung erfolgt dabei vorzugsweise durch eine Tiefpassfilterung der gewichteten Mittelwerte.

Diese Ausgestaltung der Erfindung dient dazu, die gewichteten Mittelwerte erforderlichenfalls zu glätten, um sie als Rotorstellungswerte für eine Sinuskommutierung der Erreger-

wicklungsströme verwenden zu können. Eine derartige Glättung ist insbesondere bei hohen Rotordrehzahlen erforderlich, wenn die zweite Sensorvorrichtung eine nur sehr grobe Auflösung der Rotorstellungen aufweist wie es beispielsweise im Falle von üblichen Sensorvorrichtungen mit Hallschaltern mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen der Fall ist.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Kommutierung der Erregerwicklungsströme mittels der Kommutierungsvorrichtung für alle Rotordrehzahlen als eine Sinuskommutierung ausgeführt wird. Die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme wird beispielsweise mittels einer durch eine Raumzeigermodulation gesteuerte Pulsweitenmodulation erzeugt. Diese Ausgestaltung der Erfindung vermeidet vorteilhaft, dass zwei verschiedene Kommutierungsverfahren verwendet werden und implementiert werden müssen, beispielsweise eine Sinuskommutierung bei niedrigen und eine Blockkommutierung bei hohen Rotordrehzahlen. Insbesondere wird ein Umschalten zwischen diesen beiden Kommutierungsverfahren vermieden, das zu Drehmomentsprüngen und daraus resultierenden Geräuscentwicklungen führen kann.

Eine erfindungsgemäße Messvorrichtung umfasst eine erste Sensorvorrichtung zur Erfassung der ersten Messwerte für die Rotorstellungen, eine zweite Sensorvorrichtung zur Erfassung der zweiten Messwerte für die Rotorstellungen und eine Auswerteeinheit, die dazu ausgebildet ist, die Rotorstellungswerte für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte zu bilden. Dabei weist die erste Sensorvorrichtung in dem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung auf, und die Auswerteeinheit ist dazu ausgebildet, die ersten Messwerte in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte stärker als die zweiten Messwerte zu gewichten und die von ihr gebildeten Rotorstellungswerte an die Kommutierungsvorrichtung auszugeben.

Eine derartige Messvorrichtung eignet sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit den oben genannten Vorteilen.

Vorzugsweise umfasst die erste Sensorvorrichtung wenigstens
5 einen Winkellagesensor zur Erfassung der ersten Messwerte für die Rotorstellungen, und/oder die zweite Sensorvorrichtung umfasst wenigstens drei Hallschalter mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen. Geeignete Winkellagesensoren der ersten Sensorvorrichtung sind beispielsweise magnetoresistive Sensoren, deren Messprinzip auf dem GMR-Effekt (GMR =
10 Giant Magnetoresistance) oder AMR-Effekt (anisotroper magnetoresistiver Effekt) basiert, oder Hallsensoren. Derartige Winkellagesensoren und Hallschalter sind bewährte und kommerziell verfügbare Sensoren zur Erfassung von Rotorstellungen
15 und eignen sich daher insbesondere als Sensoren für die erste Sensorvorrichtung bzw. zweite Sensorvorrichtung.

Die Auswerteeinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, Rotordrehzahlen des Rotors aus den erfassten ersten und/oder
20 zweiten Messwerten zu ermitteln. Dadurch wird vorteilhaft kein separater Inkrementalgeber zur Erfassung der Rotordrehzahlen benötigt.

Ferner ist die Auswerteeinheit vorzugsweise dazu ausgebildet,
25 die gewichteten Mittelwerte der ersten Messwerte und der zweiten Messwerte zu glätten und die Rotorstellungswerte als die geglätteten gewichteten Mittelwerte zu bilden. Dies ermöglicht vorteilhaft, die geglätteten gewichteten Mittelwerte als Rotorstellungswerte für eine Sinuskommutierung der Erreger-
30 wicklungsströme verwenden zu können, falls die zweite Sensorvorrichtung eine nur sehr grobe Auflösung der Rotorstellungen aufweist wie es beispielsweise im Falle einer zweiten Sensorvorrichtung mit Hallschaltern mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen der Fall ist.

35

Eine erfindungsgemäße rotierende elektrische Maschine umfasst einen Rotor, eine mehrphasige Erregerwicklung, eine Kommutierungsvorrichtung zur Kommutierung von Erregerwicklungs-

strömen der Erregerwicklung in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten für Rotorstellungen des Rotors und eine erfindungsgemäße Messvorrichtung.

5 Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert
10 werden. Dabei zeigen:

FIG 1 ein Blockdiagramm einer rotierenden elektrischen Maschine, und

15 FIG 2 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine.

Einander entsprechende Teile sind in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

20

Figur 1 zeigt ein Blockdiagramm einer rotierenden elektrischen Maschine 1, die als ein Elektromotor ausgebildet ist. Die elektrische Maschine 1 umfasst einen Stator 3 mit einer dreiphasigen Erregerwicklung 5, einen Rotor 7, eine Kommu-
25 tierungsvorrichtung 9 und eine Messvorrichtung 11, die eine erste Sensorvorrichtung 13, eine zweite Sensorvorrichtung 15 und eine Auswerteeinheit 17 umfasst.

Die Kommutierungsvorrichtung 9 ist zur elektronischen Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme der Erregerwicklung 5
30 in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten R für Rotorstellungen des Rotors 7 ausgebildet. In einer typischen und bekannten Ausführung der Kommutierungsvorrichtung 9 umfasst diese für jede Phase der Erregerwicklung 5 eine Halbbrücke, die zwei elekt-
35 ronische Schalteinheiten aufweist und mit einem Außenleiter 19 bis 21 der jeweiligen Phase verbunden ist. Die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme wird vorzugsweise auf bekannte Weise mittels einer durch eine Raumzeigermodulation gesteuerten

Pulsweitenmodulation der Erregerwicklungsströme in Abhängigkeit von den Rotorstellungswerten R erzeugt.

Die Rotorstellungswerte R werden in unten anhand von Figur 2
5 näher erläuteter Weise von der Auswerteeinheit 17 aus Mess-
werten A, B für Rotorstellungen des Rotors 7 gebildet und der
Kommütierungsvorrichtung 9 zugeführt, wobei erste Messwerte A
von der ersten Sensorvorrichtung 13 und zweite Messwerte B von
der zweiten Sensorvorrichtung 15 erfasst und jeweils der
10 Auswerteeinheit 17 zugeführt werden.

Die erste Sensorvorrichtung 13 weist bei niedrigen Rotor-
drehzahlen, d. h. in einem von der Drehzahl Null begrenzten ersten
Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors 7 eine höhere
15 Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrich-
tung 15 auf. Beispielsweise umfasst die erste Sensorvorrich-
tung 13 wenigstens einen Hallsensor, der zu einer hochauflö-
senden Erfassung der Rotorstellungen bei niedrigen Rotor-
drehzahlen ausgebildet ist. Die zweite Sensorvorrichtung 15
20 umfasst dagegen beispielsweise mehrere Hallschalter mit einer
geringeren Winkelauflösung von jeweils etwa 60 Grad für die
Rotorstellungen.

Figur 2 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Betrieb der
25 rotierenden elektrischen Maschine 1.

In einem ersten Verfahrensschritt S1 wird ein Drehzahl-
schwellenwert C vorgegeben und gespeichert. In einem zweiten
Verfahrensschritt S2 werden mittels der ersten Sensorvor-
30 richtung 13 die ersten Messwerte A erfasst. In einem dritten
Verfahrensschritt S3 werden mittels der zweiten Sensorvor-
richtung 15 die zweiten Messwerte B erfasst. Dabei werden in
aufeinander folgenden Messzeitintervallen jeweils ein erster
Messwert A und ein zweiter Messwert B erfasst, d. h. es werden
35 wiederholt und wenigstens annähernd gleichzeitig jeweils ein
erster Messwert A und ein zweiter Messwert B erfasst. Im
Folgenden werden ein erster Messwert A und ein zweiter Messwert B

als zueinander korrespondierend bezeichnet, wenn sie während desselben Messzeitintervalls erfasst werden.

In einem vierten Verfahrensschritt S4 wird für jedes Messzeitintervall eine Differenz $B-A$ des in dem Messzeitintervall erfassten zweiten Messwerts B und des dazu korrespondierenden ersten Messwerts A gebildet.

In einem fünften Verfahrensschritt S5 wird für jedes Messzeitintervall ein Verhältnis N/C eines momentanen Drehzahlwertes N der Rotordrehzahl und des Drehzahlschwellenwertes C gebildet.

In einem sechsten Verfahrensschritt S6 wird in Abhängigkeit von dem in dem fünften Verfahrensschritt S5 gebildeten Verhältnis N/C für jedes Messzeitintervall ein Gewichtungsfaktor K gebildet, der Werte aus dem Intervall $[0,1]$ mit den Intervallgrenzen Null und Eins annimmt. Der Gewichtungsfaktor K ist eine monoton steigende Funktion des Verhältnisses N/C , die für $N=0$ den Wert Null annimmt, im Bereich kleiner Werte des Verhältnisses N/C annähernd linear zunimmt und für Werte des Verhältnisses N/C , die größer als Eins sind, den Wert Eins annimmt.

In einem siebten Verfahrensschritt S7 wird für jedes Messzeitintervall ein gewichtetes Produkt $K(B-A)$ aus der in dem vierten Verfahrensschritt S4 für das Messzeitintervall gebildeten Differenz $B-A$ und dem in dem sechsten Verfahrensschritt S6 für das Messzeitintervall ermittelten Gewichtungsfaktor K gebildet.

In einem achten Verfahrensschritt S8 wird für jedes Messzeitintervall ein gewichteter Mittelwert M des ersten Messwertes A und des zweiten Messwertes B als Summe $M=KB+(1-K)A$ des in dem dritten Verfahrensschritt S3 während des Messzeitintervalls erfassten ersten Messwertes A und des in dem siebten Verfahrensschritt S7 für das Messzeitintervall gebildeten gewichteten Produkts $K(B-A)$ gebildet. Da der Gewichtungsfaktor K

eine monoton steigende Funktion des Verhältnisses N/C und damit auch des Drehzahlwertes N ist, ist die Gewichtung der ersten Messwerte A bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte M eine monoton fallende Funktion des Drehzahlwertes N , während die

5 Gewichtung der zweiten Messwerte B bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte M eine monoton steigende Funktion des Drehzahlwertes N ist. Da der Gewichtungsfaktor K bei $N=0$ den Wert Null annimmt, sind die gewichteten Mittelwerte M bei $N=0$ mit den jeweiligen ersten Messwerten A identisch. Da der Gewich-

10 tungsfaktor K für $N>C$ den Wert Eins annimmt, sind die gewichteten Mittelwerte M für $N>C$ mit den jeweiligen zweiten Messwerten B identisch. Die Anteile der ersten Messwerte A an den gewichteten Mittelwerten M nehmen also mit zunehmender Rotordrehzahl zwischen $N=0$ und $N=C$ ab und verschwinden für Drehzahlwerte N , die

15 den Drehzahlschwellenwert C überschreiten. Die Anteile der zweiten Messwerte B an den gewichteten Mittelwerten M verschwinden bei $N=0$ und nehmen zwischen $N=0$ und $N=C$ zu.

In einem neunten Verfahrensschritt $S9$ wird für jedes Mess-

20 zeitintervall der in dem achten Verfahrensschritt $S8$ gebildete gewichtete Mittelwert M geglättet und als Rotorstellungswert R an die Kommutierungsvorrichtung 9 ausgegeben. Die Glättung wird als eine Tiefpassfilterung der gewichteten Mittelwerte M durchgeführt, so dass die resultierenden Rotorstellungswerte R

25 als Eingangssignale für eine Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme verwendet werden können.

Optional werden in dem neunten Verfahrensschritt $S9$ außerdem aus den gewichteten Mittelwerten M die Drehzahlwerte N ermittelt,

30 die in dem ersten Verfahrensschritt $S1$ verwendet werden. Alternativ dazu werden die Drehzahlwerte N nicht aus den gewichteten Mittelwerten M ermittelt, sondern mittels eines separaten (in Figur 1 nicht dargestellten) Inkrementalgebers erfasst.

35

Die Verfahrensschritte $S4$ bis $S9$ werden von der Auswerteeinheit 17 ausgeführt und durch eine Software oder speicherprogrammierbare Steuerung realisiert.

Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

5

Bezugszeichenliste

	1	elektrische Maschine
	3	Stator
5	5	Erregerwicklung
	7	Rotor
	9	Kommutierungsvorrichtung
	11	Messvorrichtung
	13	erste Sensorvorrichtung
10	15	zweite Sensorvorrichtung
	17	Auswerteeinheit
	19 bis 21	Außenleiter
	S1 bis S9	Verfahrensschritt
	A	erster Messwert
15	B	zweiter Messwert
	C	Drehzahlschwellenwert
	K	Gewichtungsfaktor
	M	gewichteter Mittelwert
	N	Drehzahlwert
20	R	Rotorstellungswert

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer rotierenden elektrischen Maschine (1) mit einem Rotor (3), einer mehrphasigen Erregerwicklung (5) und einer Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3), wobei
- mittels einer ersten Sensorvorrichtung (13) erste Messwerte (A) für die Rotorstellungen erfasst werden,
 - mittels einer zweiten Sensorvorrichtung (15) zweite Messwerte (B) für die Rotorstellungen erfasst werden,
 - und die Rotorstellungswerte (R) für die Kommutierung der Erregerwicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) gebildet werden,
 - wobei die erste Sensorvorrichtung (13) in einem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist,
 - und wobei die ersten Messwerte (A) in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten Messwerte (B) gewichtet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Drehzahlbereich von der Drehzahl Null begrenzt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gewichtung der ersten Messwerte (A) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) eine monoton fallende und zumindest teilweise streng monoton fallende Funktion der Rotordrehzahl ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Gewichtung der zweiten Messwerte (B) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) eine monoton steigende und zumindest teilweise streng monoton

steigende Funktion der Rotordrehzahl ist, die bei der Drehzahl Null verschwindet.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehzahlschwellenwert (C) vorgegeben wird und eine Gewichtung der ersten Messwerte (A) bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) bei Rotordrehzahlen oberhalb des Drehzahlschwellenwerts (C) verschwindet.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Rotordrehzahlen des Rotors (3) aus den erfassten ersten Messwerten (A) und/oder zweiten Messwerten (B) ermittelt werden.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die gewichteten Mittelwerte (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) geglättet werden und die Rotorstellungswerte (R) als die geglätteten gewichteten Mittelwerte (M) gebildet werden.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kommutierung der Erregerwicklungsströme mittels der Kommutierungsvorrichtung (9) für alle Rotordrehzahlen als eine Sinuskommutierung ausgeführt wird.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sinuskommutierung der Erregerwicklungsströme mittels einer durch eine Raumzeigermodulation gesteuerten Pulsweitenmodulation erzeugt wird.
- 30 10. Messvorrichtung (11) zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend
- eine erste Sensorvorrichtung (13) zur Erfassung der ersten Messwerte (A) für die Rotorstellungen,
 - 35 - eine zweite Sensorvorrichtung (15) zur Erfassung der zweiten Messwerte (B) für die Rotorstellungen und
 - eine Auswerteeinheit (17), die dazu ausgebildet ist, die Rotorstellungswerte (R) für die Kommutierung der Erreger-

wicklungsströme aus gewichteten Mittelwerten (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) zu bilden,

- wobei die erste Sensorvorrichtung (13) in dem ersten Drehzahlbereich von Rotordrehzahlen des Rotors (3) eine höhere

5 Auflösung der Rotorstellungen als die zweite Sensorvorrichtung (15) aufweist,

- und wobei die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, die ersten Messwerte (A) in dem ersten Drehzahlbereich bei der Bildung der gewichteten Mittelwerte (M) stärker als die zweiten

10 Messwerte (B) zu gewichten

- und die von ihr gebildeten Rotorstellungswerte (R) an die Kommütierungsvorrichtung (9) auszugeben.

11. Messvorrichtung (11) nach Anspruch 10,

15 dadurch gekennzeichnet, dass die erste Sensorvorrichtung (13) wenigstens einen Winkellagesensor zur Erfassung der ersten Messwerte (A) für die Rotorstellungen umfasst.

12. Messvorrichtung (11) nach Anspruch 10 oder 11,

20 dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Sensorvorrichtung (15) wenigstens drei Hallschalter mit einer Winkelauflösung von etwa 60 Grad für die Rotorstellungen umfasst.

13. Messvorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 10 bis 12,

25 dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, Rotordrehzahlen des Rotors (3) aus den erfassten ersten Messwerten (A) und/oder zweiten Messwerten (B) zu ermitteln.

30 14. Messvorrichtung (11) nach einem der Ansprüche 10 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (17) dazu ausgebildet ist, die gewichteten Mittelwerte (M) der ersten Messwerte (A) und der zweiten Messwerte (B) zu glätten und die Rotorstellungswerte (R) als die geglätteten gewichteten Mittelwerte (M) zu bilden.

35

15. Rotierende elektrische Maschine (1), umfassend

- einen Rotor (3),

- eine mehrphasige Erregerwicklung (5),
 - eine Kommutierungsvorrichtung (9) zur Kommutierung von Erregerwicklungsströmen der Erregerwicklung (5) in Abhängigkeit von Rotorstellungswerten (R) für Rotorstellungen des Rotors (3)
- 5 - und eine Messvorrichtung (11) gemäß einem der Ansprüche 10 bis 14.

1/1

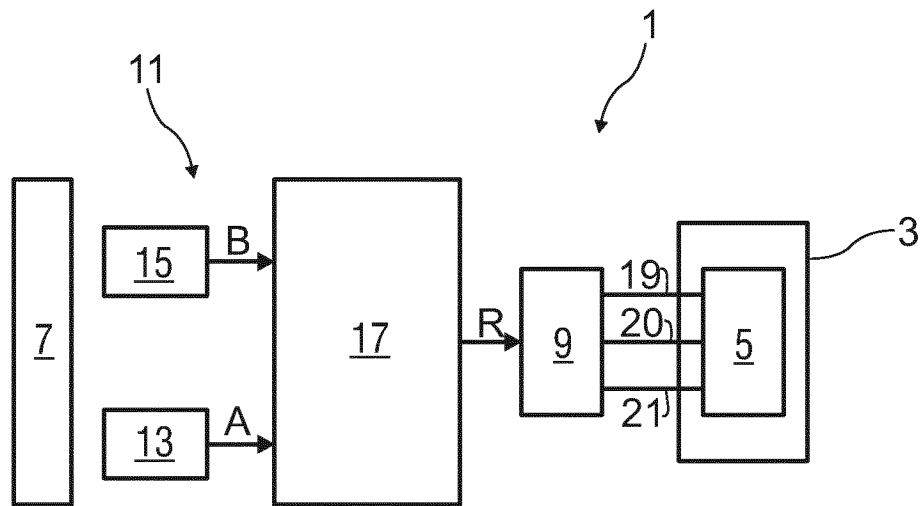


FIG 1

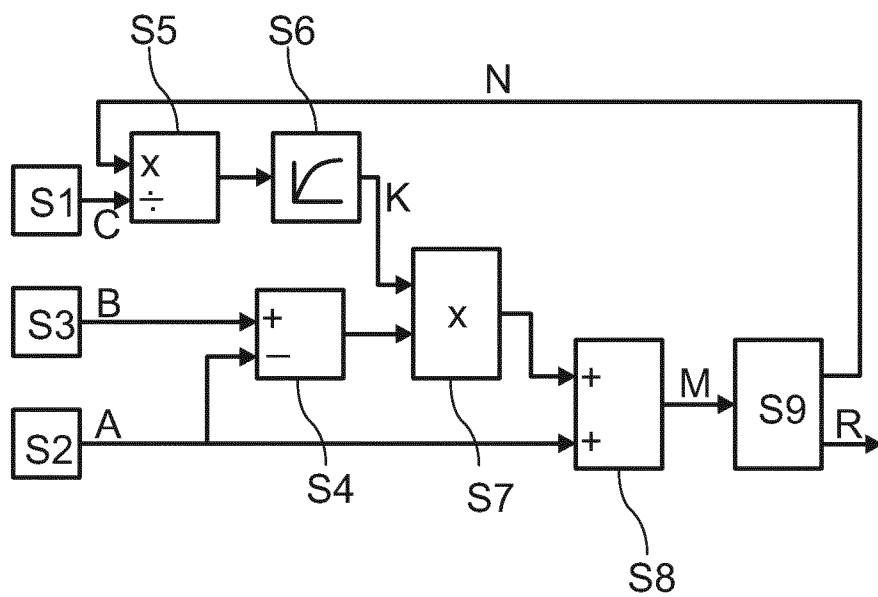


FIG 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/065880

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H02P6/18

ADD.

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/216225 A1 (ANGHEL CRISTIAN E [CA] ET AL) 29 September 2005 (2005-09-29) abstract paragraphs [0002] - [0004], [0023] - [0041] figures 2-6B	1-15
X	DE 10 2010 053468 A1 (STROTHMANN ROLF [DE]) 6 June 2012 (2012-06-06) abstract paragraph [0002] - paragraph [0031]	1,10-12
A	DE 10 2012 222316 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5 June 2014 (2014-06-05) abstract; claim 1	11,12



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

9 September 2016

Date of mailing of the international search report

21/09/2016

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

Vanata, Daniela

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/065880

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005216225 A1	29-09-2005	EP 1728315 A1	06-12-2006
		US 2005216225 A1	29-09-2005
		WO 2005099082 A1	20-10-2005

DE 102010053468 A1	06-06-2012	CN 103270688 A	28-08-2013
		DE 102010053468 A1	06-06-2012
		EP 2647121 A2	09-10-2013
		US 2013253881 A1	26-09-2013
		WO 2012097783 A2	26-07-2012

DE 102012222316 A1	05-06-2014	CN 104969036 A	07-10-2015
		DE 102012222316 A1	05-06-2014
		EP 2929297 A1	14-10-2015
		JP 2015536470 A	21-12-2015
		KR 20150091319 A	10-08-2015
		WO 2014086525 A1	12-06-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02P6/18
ADD.

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/216225 A1 (ANGHEL CRISTIAN E [CA] ET AL) 29. September 2005 (2005-09-29) Zusammenfassung Absätze [0002] - [0004], [0023] - [0041] Abbildungen 2-6B -----	1-15
X	DE 10 2010 053468 A1 (STROTHMANN ROLF [DE]) 6. Juni 2012 (2012-06-06) Zusammenfassung Absatz [0002] - Absatz [0031] -----	1,10-12
A	DE 10 2012 222316 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 5. Juni 2014 (2014-06-05) Zusammenfassung; Anspruch 1 -----	11,12



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

9. September 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/09/2016

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

Vanata, Daniela

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/065880

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005216225 A1	29-09-2005	EP 1728315 A1	06-12-2006
		US 2005216225 A1	29-09-2005
		WO 2005099082 A1	20-10-2005

DE 102010053468 A1	06-06-2012	CN 103270688 A	28-08-2013
		DE 102010053468 A1	06-06-2012
		EP 2647121 A2	09-10-2013
		US 2013253881 A1	26-09-2013
		WO 2012097783 A2	26-07-2012

DE 102012222316 A1	05-06-2014	CN 104969036 A	07-10-2015
		DE 102012222316 A1	05-06-2014
		EP 2929297 A1	14-10-2015
		JP 2015536470 A	21-12-2015
		KR 20150091319 A	10-08-2015
		WO 2014086525 A1	12-06-2014
