

(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
24. Mai 2018 (24.05.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/091164 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 1/27 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/073000

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. September 2017 (13.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 222 398.4
15. November 2016 (15.11.2016) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **KREMER, Mickael**; Albstr. 33, 70806 Korn-
westheim (DE). **TABARELLI, Sebastian**; Seilerstrasse
1, 70372 Stuttgart (DE). **RIEDL, Johannes**; Albert-Ross-
haupter-Strasse 98, 81369 Muenchen (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, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, 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.

(54) Title: OPTIMIZED ELECTRICAL MACHINE

(54) Bezeichnung: OPTIMIERTE ELEKTRISCHE MASCHINE

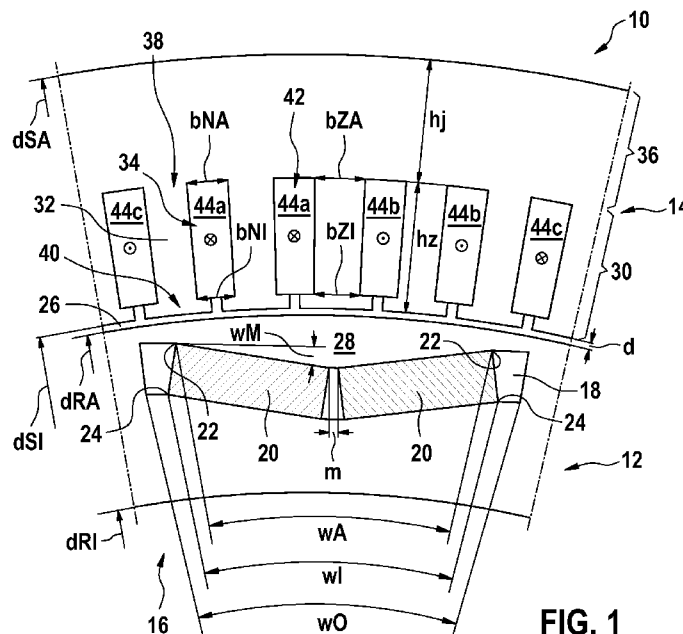


FIG. 1

(57) **Abstract:** An electrical machine (10) for driving a vehicle comprises: a stator (14) having stator grooves (34) running axially and running uniformly around an axis of the electrical machine (10), through which grooves a stator winding (42) runs; and a rotor (12) with axially running poles (16), which rotor is mounted inside the stator (14) for rotation around the axis of the electrical machine (10), wherein two pole magnets (20) with rectangular cross-section are arranged in each pole (16) of the rotor (12) in an axially running pole opening (18) forming a V in respect of one another. The electrical machine (10) is optimized with respect to a plurality of geometrical parameters which have been optimized by optimization of optimization parameters which are determined from the geometric parameters.

(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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(57) Zusammenfassung: Eine elektrische Maschine (10) zum Antrieb eines Fahrzeugsumfasst einen Stator (14) mit axial verlaufenden, gleichmäßig um eine Achse der elektrischen Maschine (10) verlaufenden Statornuten(34), durch die eine Statorwicklung (42) verläuft;und einen Rotor (12) mit axial verlaufenden Polen(16), der innerhalb des Stators (14) um die Achse der elektrischen Maschine (10) drehbar gelagert ist,wobei in jedem Pol (16) des Rotors(12)zwei Polmagnete (20) mit rechteckigem Querschnitt in einer axial verlaufenden Polöffnung (18) V-förmig zueinander angeordnet sind. Die elektrische Maschine (10) ist gegenüber einer Vielzahl von geometrischen Parametern optimiert, die durch Optimierung von Optimierungsparametern, die sich aus den geometrischen Parametern bestimmen,optimiert wurden.

5

Beschreibung

Optimierte elektrische Maschine

10

Gebiet der Erfindung

15

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, wie etwa einen Elektromotor oder einen Generator.

Stand der Technik

20

Der Einsatz von permanenterregten Synchronmaschinen bei nicht-aufladbaren und aufladbaren Hybridfahrzeugen ist weit verbreitet. Bei in den Verbrennungsmotor integrierten Synchronmaschinen werden häufig Rotoren mit zwei V-förmig angeordneten Magneten pro Pol verwendet.

25

Die Optimierung derartiger elektrischen Maschinen fordert widersprechende Optimierungsziele. Für Traktionsantriebe in der Elektromobilität werden hohe Drehmoment- bzw. Leistungsdichten gefordert. Parallel dazu müssen die Kosten, der Bauraum, die Verluste, die Drehmomentwelligkeit und das Geräusch minimiert werden.

30

Die DE 10 2012 219 174 A1 beschreibt beispielsweise, dass für eine elektrische Maschine mit Lochzahl $q=2$ die Drehmomentwelligkeit minimiert werden kann, wenn der magnetische Öffnungswinkel zwischen 76.2% und 81.6% liegt.

35

Die EP 2 498 375 A1 zeigt eine elektrische Maschine mit einem Poldeckungsfaktor zwischen 0.45 und 0.55.

Die WO 2006 095 887 A1 zeigt eine elektrische Maschine mit einem Rotor, der Polöffnungen mit Mittelsteg aufweist, und bei der ein Poldeckungsfaktor zwischen 127°el und 140°el vorliegt.

5 Weiter ist bekannt, bei in den Verbrennungsmotor integrierten Synchronmaschinen einen Stator mit einer Einzelzahnwicklung einzusetzen, die eine Lochzahl $q=0.5$ aufweist. Diese Wicklungsart minimiert in der Regel die Länge des Wickelkopfs und ermöglicht den Aufbau von Synchronmaschinen mit einer kurzen axialen Länge. Bei $q=0.5$ enthält das elektromagnetische Feld im
10 Luftspalt zwischen dem Rotor und dem Stator jedoch einen großen Anteil an Oberschwingungen. Das führt zu einer Erhöhung der Rotorverluste und der Temperatur der Magnete. Für längere in den Verbrennungsmotor integrierte Maschinen kann eine Ganzlochwicklung mit beispielsweise einer Lochzahl $q=2$ eingesetzt werden, was zu einem elektromagnetischen Feld im Luftspalt mit
15 geringerem Oberschwingungsanteil führt. In den Magneten entstehen dann geringere Wirbelstromverluste, wodurch wiederum die Temperatur der Magnete niedriger bleibt und so eine kostengünstigere Magnetklasse eingesetzt werden kann.

20

Offenbarung der Erfindung

25 Vorteile der Erfindung

Um die oben genannten Optimierungsziele zu erreichen, kann eine Multi-Ziel-Optimierung eingesetzt werden. Dabei werden eine große Anzahl von Design-Varianten berechnet und die besten Kombinationen zwischen
30 Geometrieparametern der elektrischen Maschine können identifiziert werden.

Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können in vorteilhafter Weise ermöglichen, elektrische Maschinen bereitzustellen, bei denen viele Eigenschaften wie Verluste, Baukosten, Wirkungsgrad, Drehmomentwelligkeit
35 und Geräusche in Bezug aufeinander optimiert sind.

Ideen zu Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können unter anderem als auf den nachfolgend beschriebenen Gedanken und Erkenntnissen beruhend angesehen werden.

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine zum Antrieb eines Fahrzeugs, wie etwa eines Pkws, Lkws, Busses usw., insbesondere eines nicht-aufladbaren und aufladbaren Hybridfahrzeugs. Die elektrische Maschine kann eine permanenterregte Synchronmaschine sein und/oder kann eine in den Verbrennungsmotor integrierte Synchronmaschine sein. Beispielsweise kann der Rotor der elektrischen Maschine direkt auf die Antriebswelle eines Verbrennungsmotors montiert sein.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die elektrische Maschine einen Stator mit axial verlaufenden, gleichmäßig um eine Achse der elektrischen Maschine verlaufenden Statornuten, durch die eine Statorwicklung verläuft, und einen Rotor mit axial verlaufenden Polen, der innerhalb des Stators um die Achse der elektrischen Maschine drehbar gelagert ist, wobei in jedem Pol des Rotors zwei Polmagnete mit rechteckigem Querschnitt in einer axial verlaufenden Polöffnung V-förmig zueinander angeordnet sind.

Bei einer Multi-Ziel-Optimierung hat sich gezeigt, dass folgende geometrische Parameter und/oder Baugrößen des Rotors und/oder des Stators einer derartigen elektrischen Maschine zu einer Optimierung einer großen Anzahl von Optimierungszielen bzw. Optimierungsparametern führen, darunter die Erfüllung eines gewünschten Drehmoments bzw. einer gewünschten Drehzahlanforderung, eine Maximierung des Wirkungsgrads, eine Minimierung von Geräuschen, eine Minimierung von Kosten, eine Minimierung einer Drehmomentwelligkeit und eine Minimierung eines Kurzschlussstroms bzw. von Kurzschlussverlusten.

Die elektrische Maschine ist gegenüber einer Vielzahl von geometrischen Parametern optimiert, die durch Optimierung von Optimierungsparametern bzw. Optimierungszielen, die sich aus den geometrischen Parametern bestimmen, optimiert wurden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt bei dem Rotor: der geometrische Versetzungswinkel der beiden Polmagnete, mit dem die beiden Polmagnete V-förmig zueinander versetzt sind, weniger als 15°; der elektrische

Winkel der äußeren Polbedeckung zwischen 115.7°el. und 133.2°el.; und der elektrische Winkel der inneren Polbedeckung zwischen 123.5°el. und 142.9°el.

Der geometrische Versetzungswinkel der beiden Polmagnete kann dabei als ein Winkel angesehen werden, um den die beiden Magnete zueinander verdreht sind, um zusammen ein V zu bilden.

Ein elektrischer Winkel kann als ein geometrischer Winkel multipliziert mit zweimal einer Anzahl der Pole des Rotors bestimmt werden.

Die äußere Polbedeckung kann durch einen axialen geometrischen Winkel bestimmt werden, den die beiden Polmagnete an einer radial außen liegenden Seite der Polöffnung überdecken. Beispielsweise kann die äußere Polbedeckung mit dem geometrischen Winkel zwischen radial äußeren in Umfangsrichtung außen liegenden Kanten der Polmagnete bestimmt werden.

Die innere Polbedeckung kann durch einen axialen geometrischen Winkel bestimmt werden, den die beiden Polmagnete an einer radial innen liegenden Seite der Polöffnung überdecken. Beispielsweise kann die innere Polbedeckung durch einen axialen geometrischen Winkel zwischen radial innen und in Umfangsrichtung außen liegenden Kanten der Polmagnete bestimmt sein.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt bei dem Stator: ein Verhältnis von Zahnhöhe zu Jochdicke zwischen 0.959 und 1.126; ein Verhältnis von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahngrund zwischen 1.23 und 1.35 ; ein Verhältnis von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahnkopf zwischen 1.03 und 1.14 ; und ein Verhältnis von Nutbreite am Zahngrund zu Nutbreite am Zahnkopf zwischen 0.9 und 1.1 beträgt.

Die Nuten als auch die Zähne (ohne den Zahnkopf) können einen trapezförmigen Querschnitt aufweisen. Die Nuten können einen rechteckigen Querschnitt aufweisen, was bei einer Steckwicklung von Vorteil sein kann, da die gesteckten Leiter in der Regel einen rechteckigen Querschnitt aufweisen.

Die Zahnhöhe ist die radiale Höhe bzw. Dicke, über die sich der ringförmige Teil des Stators erstreckt, der Zähne bzw. Nuten aufweist. Die Jochdicke ist die verbleibende radiale Höhe bzw. Dicke des ringförmigen Teils des Stators (d.h. des Jochs), der keine Zähne und Nuten aufweist. Der Zahngrund befindet sich

am Übergang zwischen den Zähnen und dem Joch. Der Zahnkopf ist das Ende eines Zahns, der Richtung Rotor weist und der eventuell T-förmig ausgebildet sein kann. Die Zahnbreite und die Nutbreite werden in Umfangsrichtung bestimmt, wobei die Zahnbreite ohne die T-förmige Verdickung am Zahnkopf bestimmt wird.

Die eben genannten Parameter für den Stator führen in Kombination mit den oben genannten Parametern zu einer besonders optimalen elektrischen Maschine. Jedoch sind auch andere Parameterkombinationen für den Stator möglich, wie die folgenden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, beträgt bei dem Stator: ein Verhältnis von Zahnhöhe zu Jochdicke zwischen 1.395 und 1.6376; ein Verhältnis von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahngrund zwischen 1.33 und 1.47; ein Verhältnis von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahnkopf zwischen 1.06 und 1.19; und ein Verhältnis von Nutbreite am Zahngrund zu Nutbreite am Zahnkopf zwischen 0.9 und 1.1.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt der Statoraußendurchmesser zwischen 110 und 500 mm. Der Statoraußendurchmesser wird von der Drehachse des Rotors zum Außenumfang des Stators bzw. dessen Jochs gemessen.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung weist die elektrische Maschine eine Lochzahl von größer gleich 1 auf. Die Lochzahl einer elektrischen Maschine kann durch die Anzahl der Nuten im Stator geteilt durch die Anzahl der Phasen und geteilt durch die Anzahl der Pole des Rotors bestimmt werden. Beispielsweise hat eine elektrische Maschine mit drei Phasen und sechs Nuten pro Pol eine Lochzahl von 2.

Bei einer Lochzahl von größer gleich 1, wie beispielsweise 2, kann eine Ganzlochwicklung verwendet werden, die insbesondere als Steckwicklung ausgeführt sein kann. Mit einer Steckwicklung kann beispielsweise der Kupferfüllfaktor zur Reduzierung der Kupferverluste erhöht werden und eine bessere thermische Anbindung zwischen der Wicklung und dem Stator erreicht werden. Außerdem können bei höheren Stückzahlen Kosten gesenkt werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt ein Verhältnis vom Innendurchmesser zum Außendurchmesser des Stators zwischen 0.75 und 0.85, beispielsweise zwischen 0.80 und 0.85. Der Statorinnendurchmesser wird von der Drehachse des Rotors zum Innumfang des Stators bzw. dessen Zähnen gemessen.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt ein Verhältnis zwischen einer Breite des Luftspalts zwischen dem Stator und dem Rotor und dem Innendurchmesser des Stators zwischen 0.0025 und 0.0055. Zwischen dem Stator und dem Rotor befindet sich ein ringförmiger Bereich, der Luftspalt genannt wird. Die Breite des Luftspalts wird in radiale Richtung bestimmt.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt ein Abstand in Umfangsrichtung zwischen zwei Polmagneten eines Pols weniger als 3.0 mm. Falls die beiden Polmagnete nicht durch einen Mittelsteg in der Polöffnung voneinander getrennt sind, kann dieser Abstand auch kleiner sein, wie etwa weniger als 1.5 mm.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist die Polöffnung V-förmig und/oder weist keinen Mittelsteg auf. Mit anderen Worten kann die Polöffnung für einen Pol zwei Einzelöffnungen umfassen, die von dem Mittelsteg voneinander getrennt sein. Alternativ dazu kann die Polöffnung eine V-förmige durchgehende Öffnung sein.

Eine Polöffnung ohne Mittelsteg kann einen Streufluss im Rotor reduzieren und damit den Wirkungsgrad bzw. das Drehmoment erhöhen. Weiter kann die Induktivität des Rotors in Umfangsrichtung reduziert werden, was zu einer Maximierung des Reluktanzmoments führen kann. Außerdem kann eine Entmagnetisierungsfestigkeit der Polmagnete bei Verbesserung deren Arbeitspunkts verbessert werden.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung beträgt ein Verhältnis der radialen Dicke des Stegs zwischen der Polöffnung und einem Außenumfang des Rotors an seinem Rand in Umfangsrichtung und der Dicke des Stegs, bei der ein Polmagnet den Steg zu berühren beginnt, zwischen 0.7 und 1.2. Der Steg kann als die Trennwand zwischen Polöffnung und einem Außenumfang des Rotors aufgefasst werden. Bei einer V-förmigen Polöffnung ist dieser Steg in radiale Richtung unterschiedlich dick. Auch kann der Steg in einem Bereich der

Polöffnung, der keinen Polmagnet enthält, unterschiedlich dick ausgestaltet sein, um die Drehzahlfestigkeit zu erhöhen. Das hier beschriebene Verhältnis bezieht sich auf die Dicke des Stegs am Rande der Öffnung und der Dicke des Stegs, wo ein Polmagnet den Steg zu berühren beginnt. Dieses Verhältnis führt insbesondere zu einer optimalen Drehzahlfestigkeit.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei weder die Zeichnungen noch die Beschreibung als die Erfindung einschränkend auszulegen sind.

Fig. 1 zeigt einen Teilquerschnitt durch eine elektrische Maschine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus Fig. 1.

Fig. 3 zeigt Diagramme, die das Optimieren der elektrischen Maschine aus den Fig. 1 und 2 illustrieren.

Die Figuren sind lediglich schematisch und nicht maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in den Figuren gleiche oder gleichwirkende Merkmale.

Ausführungsformen der Erfindung

Fig. 1 zeigt einen Teilquerschnitt durch eine elektrische Maschine 10 mit einem Rotor 12, der innerhalb eines Stators 14 drehbar um eine Achse gelagert ist. Der Teilquerschnitt erstreckt sich über einen Pol 16 des Rotors 12. Der Pol 16 ist durch eine V-förmige Polöffnung 18 gekennzeichnet, in der zwei Polmagnete 20 aufgenommen sind. Die beiden Polmagnete 20 weisen einen rechteckigen Querschnitt auf und sind V-förmig zueinander orientiert.

Die beiden Polmagnete weisen einen geometrischen Versetzungswinkel w_M von weniger als 15° auf. Der Versetzungswinkel w_M der beiden Polmagnete 20 ist dabei der Winkel, um den die beiden Magnete jeweils zueinander verdreht sind, um zusammen ein V zu bilden. Zusammen sind die beiden Polmagnete um $2 \cdot w_M$ versetzt.

In der Fig. 1 sind weiter die radial äußere Polabdeckung w_A , die radial innere Polabdeckung w_I und die Öffnungsüberdeckung w_O eingezeichnet, die alle als geometrische Winkel angegeben werden können.

Die äußere Polbedeckung w_A kann mit dem axialen geometrischen Winkel zwischen radial äußeren in Umfangsrichtung außen liegenden Kanten 22 der Polmagnete 20 bestimmt werden. Optimalerweise beträgt die äußere Polabdeckung w_A zwischen 123.5°_{el} und 142.9°_{el} . Der Winkel ist dabei in elektrischen Grad ($^\circ_{el}$) angegeben, der ihn unabhängig von der Anzahl der Pole 16 des Rotors 12 macht. Konkret wird ein elektrischer Winkel w_{el} wie folgt aus dem geometrischen bzw. mechanischen Winkel w_{mech} und der Polzahl p bestimmt:

$$w_{el} = w_{mech} \cdot p/2$$

Die innere Polbedeckung w_I kann mit dem axialen geometrischen Winkel zwischen radial innen und in Umfangsrichtung außen liegenden Kanten 24 der Polmagnete 20 bestimmt sein. Optimalerweise beträgt die innere Polabdeckung w_I zwischen 115.7°_{el} und 133.2°_{el} .

Der minimale Abstand m zwischen den Polmagneten 20 in Umfangsrichtung beträgt optimalerweise weniger als 3 mm (auch wenn ein Mittelsteg vorhanden ist). Die in der Fig. 1 gezeigte Polöffnung 18 weist keinen Mittelsteg auf. In diesem Fall kann der Abstand m der Polmagnete 20 auch weniger als 1.5 mm betragen.

Die Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Fig. 1 genauer, mit dem Parameter des Stegs 28, der die Polöffnung 18 von einem Luftspalt 26 trennt, der zwischen dem Rotor 12 und dem Stator 14 angeordnet ist. Gezeigt sind eine radiale Dicke h_{SA} des Stegs 28 zwischen der Polöffnung 18 und einem Außenumfang des Rotors 12 am Rand des Stegs 28 bzw. der Polöffnung 28 in Umfangsrichtung und eine radiale Dicke h_{SI} des Stegs 28, bei der ein Polmagnet 20 den Steg 28 zu

berühren beginnt. Optimalerweise beträgt das Verhältnis h_{SA}/h_{SI} zwischen 0.7 und 1.2.

Mit Bezug auf die Fig. 1 weist der Stator in einem Zahnbereich 30 Zähne 32 auf, die zwischen sich Nuten 34 bilden. Die Zähne 32 werden von einem Jochbereich 36 gehalten und gehen mit ihrem Zahngrund 38 in den Jochbereich 36 über. An einem Zahnkopf 40, der dem Zahngrund 38 gegenüberliegt und in Richtung des Rotors 12 weist, sind die Zähne T-förmig ausgeführt, so dass sich für die Nuten 34 nahezu geschlossene Öffnungen durch den Stator 14 ergeben. Die Zähne 32 ohne Zahnkopf 40 weisen einen im Wesentlichen trapezförmigen Querschnitt auf. Die Nuten 34 weisen einen im Wesentlichen trapezförmigen oder rechteckigen Querschnitt auf.

In den Nuten 34 ist eine Statorwicklung 42 angeordnet, die drei Phasen 44a, 44b, 44c aufweist. Die Leiter der Statorwicklung 42 können bei einer Steckwicklung in die Nuten 34 gesteckt und an ihren Enden miteinander verbunden worden sein.

Wie in der Fig. 1 gezeigt, sind dem einen Pol 16 sechs Nuten 34 zugeordnet. Mit drei Phasen 44a, 44b, 44c ergibt sich für die elektrische Maschine eine Lochzahl von $q=2$. Optimalerweise weist die elektrische Maschine eine Lochzahl q größer gleich 1 auf.

In der Fig. 1 sind folgende Parameter des Stators 14 eingezeichnet:

- die Zahnhöhe h_z , d.h. der radiale Abstand vom Innendurchmesser d_{SI} des Stators 14 zum Zahngrund 38 bzw. die radiale Höhe bzw. Dicke des Zahnbereichs 30,
- die Jochdicke h_j , d.h. der radiale Abstand vom Zahngrund 38 zum Außendurchmesser d_{SA} des Stators 14 bzw. die radiale Höhe oder Dicke des Jochbereichs 36,
- die Zahnbreite b_{ZA} am Zahngrund 38, d.h. radial am weitesten außen,
- die Zahnbreite b_{ZI} am Zahnkopf 40, d.h. radial am weitesten innen,
- die Nutbreite b_{NA} am Zahngrund 38, d.h. radial am weitesten außen, und
- die Nutbreite b_{NI} am Zahnkopf 40, d.h. radial am weitesten innen.

Für den Stator 14 gibt es zwei alternative Parametersätze, die zusammen mit den oben angegebenen Parametern für den Rotor 12 optimal sind:

Parametersatz I:

- Verhältnis h_z/h_j von Zahnhöhe zu Jochdicke: 0.959 – 1.126
- Verhältnis b_{ZA}/b_{NA} von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahngrund 38: 1.23– 1.35
- Verhältnis b_{ZI}/b_{NI} von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahnkopf 40: 1.03– 1.14
- Verhältnis h_{NA}/h_{NI} der Nutbreiten am Zahngrund 38 und am Zahnkopf 40: 0.9 – 1.1

Parametersatz II:

- Verhältnis h_z/h_j von Zahnhöhe zu Jochdicke: 1.395 – 1.6376
- Verhältnis b_{ZA}/b_{NA} von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahngrund 38: 1.33 – 1.47
- Verhältnis b_{ZI}/b_{NI} von Zahnbreite zu Nutbreite am Zahnkopf 40: 1.06 – 1.19
- Verhältnis h_{NA}/h_{NI} der Nutbreiten am Zahngrund 38 und am Zahnkopf 40: 0.9 – 1.1

Die Parameter können beispielsweise mit einem Statoraußendurchmesser d_{SA} zwischen 110 mm und 500 mm realisiert werden.

Das Verhältnis d_{SI}/d_{SA} des Innendurchmessers d_{SI} zu dem Außendurchmesser d_{SA} des Stators kann optimalerweise zwischen 0.75 und 0.85 betragen.

Außerdem hat sich ein optimales Verhältnis d/D_{SI} von der Dicke des Luftspalts d zum Innendurchmesser d_{SI} des Stators 14 zwischen 0.0025 und 0.0055 ergeben.

Die Fig. 3 zeigt die Ergebnisse einer Multi-Ziel-Optimierung, die zu den oben genannten Parameter-Kombinationen führt. Die Fig. 3 enthält Diagramme, bei denen jedes je zwei Zielwerte der elektrischen Maschine 10 zeigt. Wichtig ist, dass die oben genannten geometrischen Parameter die elektrische Maschine definieren, während bei der Multi-Ziel-Optimierung Optimierungsparameter optimiert werden, die von den geometrischen Parametern beeinflusst werden.

Jeder multidimensionale Punkt, der durch die beiden Optimierungsparameter der Diagramme definiert ist, kann damit als eigenes Design einer elektrischen Maschine aufgefasst werden. Mittels eines rekursiven Optimierungsalgorithmus wird von einem Punkt ausgegangen und werden dann weitere optimalere Punkte gesucht. Alle durch den Algorithmus betrachteten Punkte sind in den Diagrammen als umrandete Fläche eingezeichnet.

Der Pfeil in jedem der Diagramme zeigt, wo sich das optimale Design bezüglich der beiden Optimierungsparameter, die in dem Diagramm aufgetragen sind, befinden würde. Dieser Punkt kann jedoch bei sich gegenseitig widersprechenden Einzelzielen nicht erreicht werden. Es kann lediglich ein relatives Optimum aller Optimierungsziele ermittelt werden. Die Punkte in der schraffierten Fläche stellen Sätze von Optimierungsparametern dar, bei denen alle Optimierungsparameter möglichst optimal sind. Aus diesen optimalen Optimierungsparametern wurden dann die Intervalle für die oben genannten geometrischen Parameter für die elektrische Maschine 10 abgeleitet.

Folgende Optimierungsparameter sind dargestellt und wurden optimiert:

- Das maximale Drehmoment T muss maximiert werden.
- Die maximale Leistung P muss maximiert werden.
- Der Kurzschlussstrom I muss minimiert werden.
- Der Geräuschpegel G muss minimiert werden.
- Die Tonalität O muss maximiert werden.
- Der Zykluswirkungsgrad Z muss maximiert werden.
- Die Materialkosten K müssen minimiert werden.
- Die Verluste V müssen minimiert werden.
- Das Drehmomentrippl R muss minimiert werden.

Der Zykluswirkungsgrad Z ist wichtig für Hybrid- und Elektrofahrzeuge, da er einen direkten Einfluss auf die Reichweite hat.

Alle angegebenen Parameter sind auf einen vorgegebenen Maximalwert normiert.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass Begriffe wie „aufweisend“, „umfassend“ etc. keine anderen Elemente oder Schritte ausschließen und Begriffe wie „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließen. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

5 Ansprüche

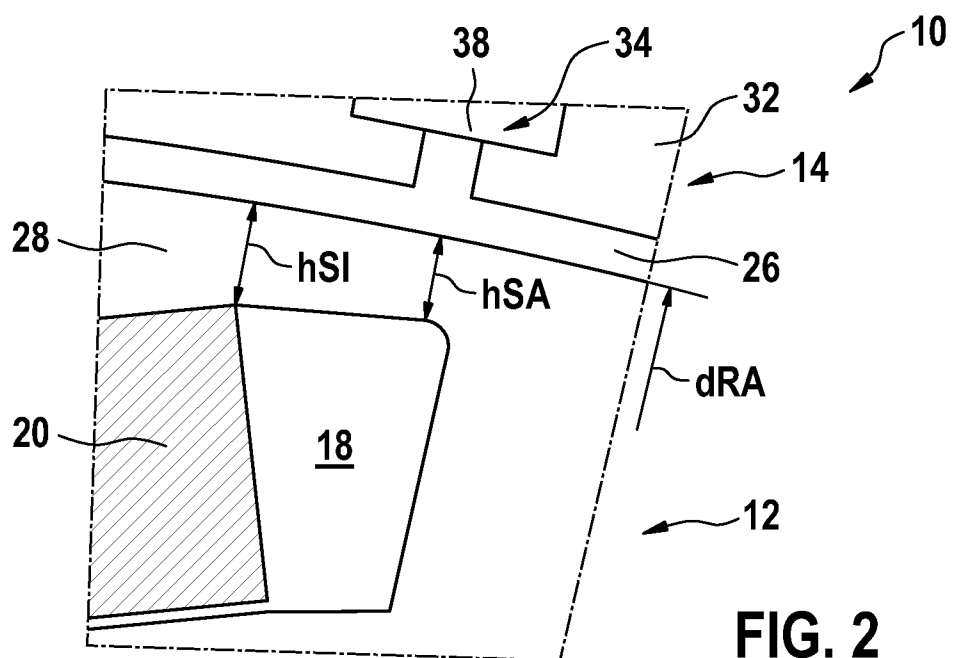
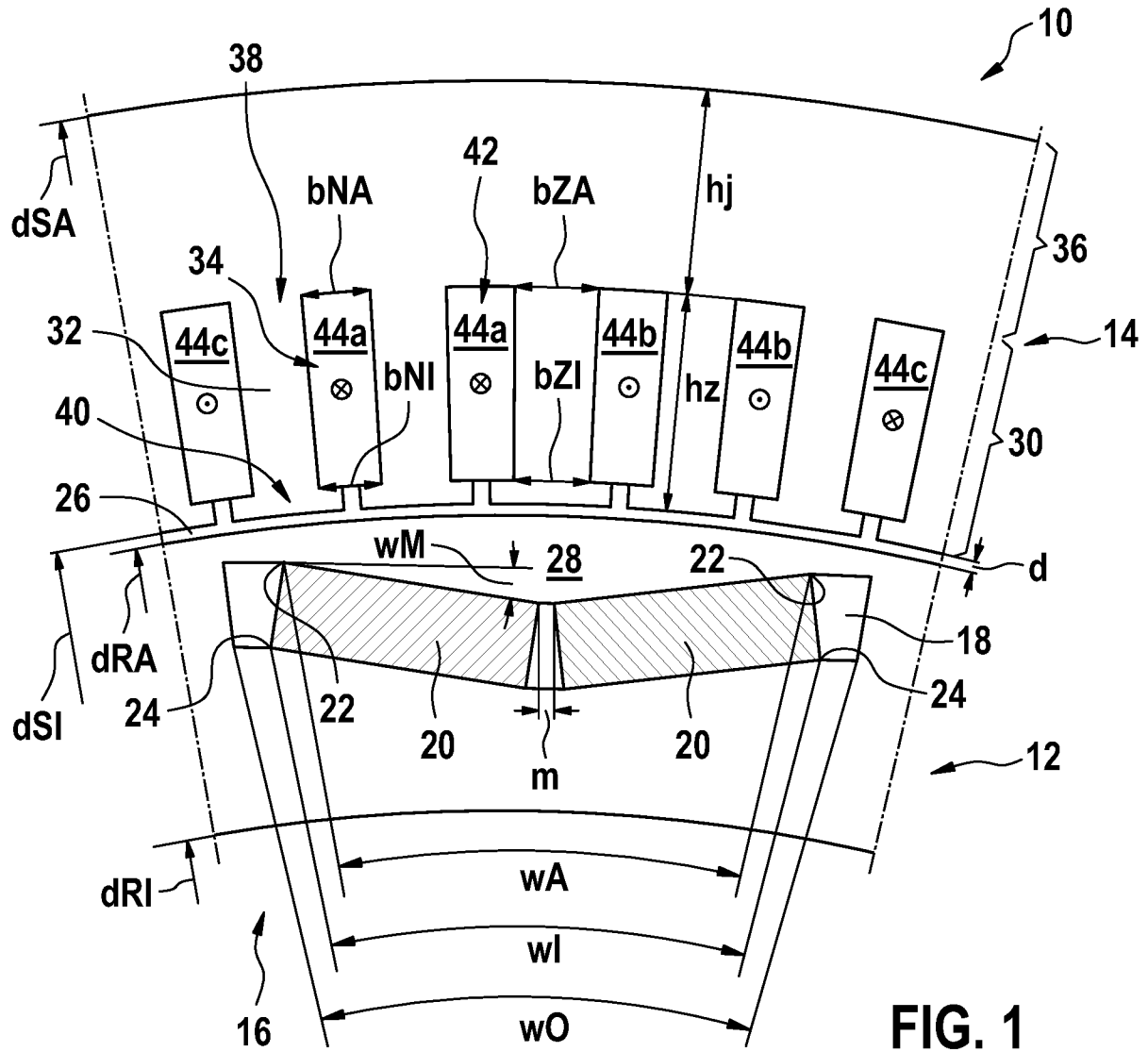
1. Elektrische Maschine (10) zum Antrieb eines Fahrzeugs, umfassend:
einen Stator (14) mit axial verlaufenden, gleichmäßig um eine Achse der
elektrischen Maschine (10) verlaufenden Statornuten (34), durch die eine
Statorwicklung (42) verläuft;
einen Rotor (12) mit axial verlaufenden Polen (16), der innerhalb des Stators
(14) um die Achse der elektrischen Maschine (10) drehbar gelagert ist,
wobei in jedem Pol (16) des Rotors (12) zwei Polmagnete (20) mit
rechteckigem Querschnitt in einer axial verlaufenden Polöffnung (18) V-
förmig zueinander angeordnet sind,
dadurch gekennzeichnet, dass
der geometrische Versetzungswinkel (w_M) der beiden Polmagnete (20), mit
dem die beiden Polmagnete (20) V-förmig zueinander versetzt sind, weniger
als 15° beträgt;
der elektrische Winkel der äußeren Polbedeckung (w_A) zwischen 115.7° el.
und 133.2° el. beträgt;
der elektrische Winkel der inneren Polbedeckung (w_I) zwischen 123.5° el.
und 142.9° el. beträgt;
wobei ein elektrischer Winkel als ein geometrischer Winkel multipliziert mit
der Hälfte einer Anzahl der Pole (16) des Rotors (12) bestimmt ist;
wobei die äußere Polbedeckung (w_A) durch einen axialen geometrischen
Winkel bestimmt ist, den die beiden Polmagnete (20) an einer radial außen
liegenden Seite der Polöffnung (18) überdecken;
wobei die innere Polbedeckung (w_I) durch einen axialen geometrischen
Winkel bestimmt ist, den die beiden Polmagnete (20) an einer radial innen
liegenden Seite der Polöffnung (18) überdecken.
2. Elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1, wobei bei dem Stator (14):
ein Verhältnis von Zahnhöhe (h_z) zu Jochdicke (h_j) zwischen 0.959 und
1.126 beträgt;
ein Verhältnis von Zahnbreite (b_{ZA}) zu Nutbreite (b_{NA}) am Zahngrund (38)
zwischen 1.23 und 1.35 beträgt;
ein Verhältnis von Zahnbreite (b_{ZI}) zu Nutbreite (b_{NI}) am Zahnkopf (40)

zwischen 1.03 und 1.14 beträgt;
ein Verhältnis von Nutbreite (bNA) am Zahngrund (38) zu Nutbreite (bNI) am
Zahnkopf (40) zwischen 0.9 und 1.1 beträgt.

- 5 3. Elektrische Maschine (10) nach Anspruch 1, wobei bei dem Stator (14):
ein Verhältnis von Zahnhöhe (hz) zu Jochdicke (hj) zwischen 1.395 und
1.6376 beträgt;
ein Verhältnis von Zahnbreite (bZA) zu Nutbreite (bNA) am Zahngrund (38)
zwischen 1.33 und 1.47 beträgt;
10 ein Verhältnis von Zahnbreite (bZI) zu Nutbreite (bNI) am Zahnkopf (40)
zwischen 1.06 und 1.19 beträgt;
ein Verhältnis von Nutbreite (bNA) am Zahngrund (38) zu Nutbreite (bNA)
am Zahnkopf (40) zwischen 0.9 und 1.1 beträgt.
- 15 4. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei der Statoraußendurchmesser (dSA) zwischen 110 und 500 mm
beträgt.
- 20 5. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die elektrische Maschine (10) eine Lochzahl von größer gleich 1
aufweist.
- 25 6. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei ein Verhältnis vom Innendurchmesser (dSI) zum Außendurchmesser
(dSA) des Stators (14) zwischen 0.75 und 0.85 beträgt.
- 30 7. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei ein Verhältnis zwischen einer Breite (d) eines Luftspalts (26) zwischen
dem Stator (14) und dem Rotor (12) und dem Innendurchmesser (dSI) des
Stators (14) zwischen 0.0025 und 0.0055 beträgt.
- 35 8. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei ein Abstand (m) in Umfangsrichtung zwischen zwei Polmagneten (20)
eines Pols (16) weniger als 3.0 mm beträgt.
9. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Polöffnung (18) V-förmig ist und keinen Mittelsteg aufweist.

5

10. Elektrische Maschine (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Verhältnis der radialen Dicke (h_{SA}) des Stegs (28) zwischen der Polöffnung (18) und einem Außenumfang des Rotors (12) an seinem Rand in Umfangsrichtung und der Dicke (h_{SI}) des Stegs (28), bei der ein Polmagnet (20) den Steg (28) zu berühren beginnt, zwischen 0.7 und 1.2 beträgt.



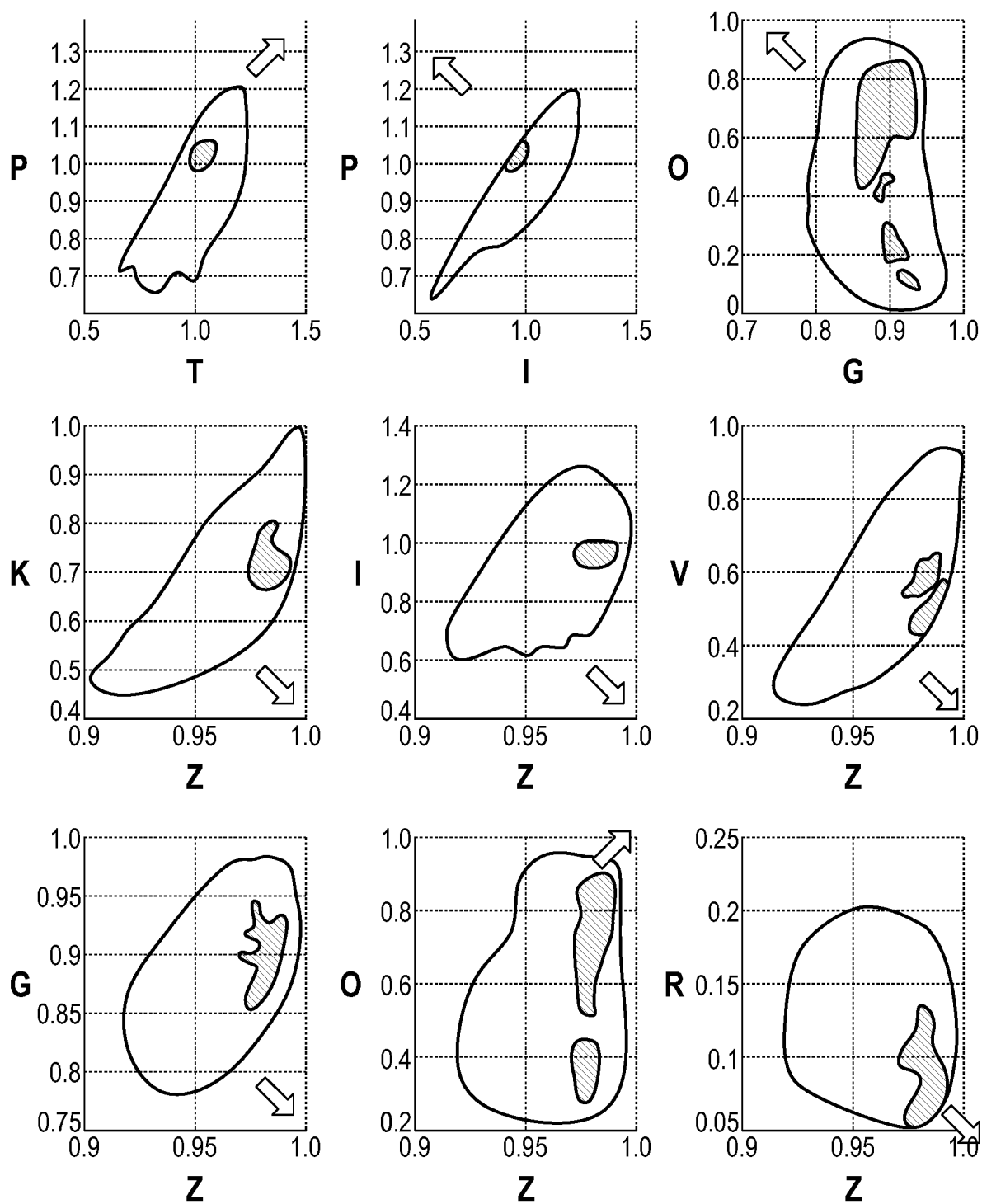


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/073000

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02K1/27
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)
H02K

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	DE 10 2015 203012 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 25 August 2016 (2016-08-25) figure 2 paragraphs [0002], [0003] -----	1-10
X	JP 2008 306849 A (TOYOTA MOTOR CORP) 18 December 2008 (2008-12-18) paragraphs [0032], [0033], [0047]; figures 1,7 -----	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

30 November 2017

Date of mailing of the international search report

06/12/2017

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

Ganchev, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/073000

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102015203012 A1	25-08-2016	DE 102015203012 A1	25-08-2016
		WO 2016131588 A1	25-08-2016

JP 2008306849 A	18-12-2008	JP 2008306849 A	18-12-2008
		WO 2008150035 A1	11-12-2008

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02K1/27
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02K

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	DE 10 2015 203012 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 25. August 2016 (2016-08-25) Abbildung 2 Absätze [0002], [0003] -----	1-10
X	JP 2008 306849 A (TOYOTA MOTOR CORP) 18. Dezember 2008 (2008-12-18) Absätze [0032], [0033], [0047]; Abbildungen 1,7 -----	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

30. November 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/12/2017

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

Ganchev, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/073000

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015203012 A1	25-08-2016	DE 102015203012 A1	25-08-2016
		WO 2016131588 A1	25-08-2016

JP 2008306849 A	18-12-2008	JP 2008306849 A	18-12-2008
		WO 2008150035 A1	11-12-2008
