

(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  
15. August 2019 (15.08.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2019/154573 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*H02K 1/27* (2006.01)      *H02K 15/03* (2006.01)  
*H02K 21/16* (2006.01)      *H02K 29/03* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/050311

(22) Internationales Anmeldedatum:  
08. Januar 2019 (08.01.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
18156033.5      09. Februar 2018 (09.02.2018)      EP

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München  
(DE).

(72) Erfinder: **POTORADI, Detlef**, Schlehenweg Nr. 7, 97616  
Bad Neustadt/Saale (Mühlbach) (DE).

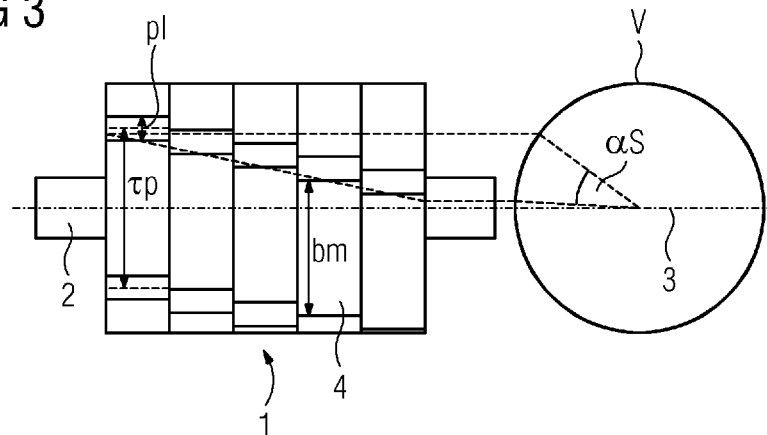
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, 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.

(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,

(54) Title: PERMANENTLY EXCITED SYNCHRONOUS MACHINE HAVING REDUCED PENDULUM TORQUE

(54) Bezeichnung: PERMANENTERREGTE SYNCHRONMASCHINE MIT REDUZIERTEM PENDELDMOMENT

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a permanently excited synchronous machine (10), comprising a stator and a rotor, on which permanent magnets (4) having a pole coverage (ap) in the circumferential direction and having a tilt in relation to a machine axis (3) of the permanently excited synchronous machine (10) are arranged. The pole coverage (ap) and the tilt are dimensioned in such a way that pendulum torques caused by the fifth and seventh harmonic wave of a stator field and a rotor field, respectively, reciprocally reduce or compensate each other. The tilt with respect to the machine axis (3) has a tilt angle ( $\alpha_S$ ) in the circumferential direction in the range of 10° to 20°, preferably 14° to 16°, and the pole coverage (ap) is in the range of 75% to 90%, preferably 80% to 86%. The best results with respect to the pendulum torque are achieved with a tilt angle ( $\alpha_S$ ) of 15° and a pole coverage (ap) of 84%.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine permanenterregte Synchronmaschine (10) mit einem Stator und einem Rotor, auf dem Permanentmagnete (4) mit einer Polbedeckung (ap) in Umfangsrichtung und mit einer Schrägung bezogen auf eine Maschinenachse (3) der permanenterregten Synchronmaschine (10) angeordnet sind. Die Polbedeckung (ap) und die Schrägung sind derart dimensioniert, dass sich Pendeldrehmomente, die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils eines Statorfelds und eines Rotorfelds hervorgerufen werden, gegenseitig reduzieren bzw. kompensieren. Die Schrägung bezüglich der Maschinenachse (3) weist einen Schrägungswinkel ( $\alpha_S$ ) in Umfangsrichtung im Bereich von 10° bis 20°, vorzugsweise von 14° bis 16°, auf, die Polbedeckung (ap) liegt im Bereich von 75% bis 90%, vorzugsweise von 80% bis 86%. Die besten Ergebnisse bezüglich des Pendeldrehmoments werden mit

WO 2019/154573 A1

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)

## Beschreibung

Permanenterregte Synchronmaschine mit reduziertem  
Pendeldrehmoment

5

Die Erfindung betrifft eine permanenterregte Synchronmaschi-  
ne, die für einen Dreiphasen-Betrieb ausgelegt ist, mit einem  
Stator und einem Rotor, auf dem Permanentmagnete mit einer  
Polbedeckung in Umfangsrichtung und mit einer Schrägung bezo-  
gen auf eine Maschinenachse der permanenterregten Synchronma-  
10 schine angeordnet sind, wobei die Polbedeckung und die Schrä-  
gung derart dimensioniert sind, dass sich Pendeldrehmomente,  
die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils eines  
Statorfelds und eines Rotorfelds hervorgerufen werden, gegen-  
15 seitig reduzieren.

Eine Drehmomentwelligkeit einer permanenterregten Synchronma-  
schine ist bei Belastung der permanenterregten Synchronma-  
schine ein wichtiges Merkmal. Die Drehmomentwelligkeit wird  
20 hauptsächlich durch Oberwellen der gleichen Ordnungszahl in  
Magnetfeldern des Rotors und des Stators hervorgerufen und  
führt dazu, dass ein von der permanenterregten Synchronma-  
schine bereitgestelltes Drehmoment ein Pendeldrehmoment auf-  
weist.

25

Besonders die fünfte und die siebte Oberwelle haben massiven  
Einfluss auf die Drehmomentwelligkeit.

Die Patentschrift EP 2139100 A1 offenbart eine permanentmag-  
30 neterregte Synchronmaschine, die für einen Dreiphasen-Betrieb  
ausgelegt ist, mit einem Stator, bei dem jeder Zahn von einer  
Wicklung umgeben ist, und der eine Lochzahl  $q = 1/2$  besitzt,  
und einem Rotor, auf dem Permanentmagnete mit einer Pollücke  
in Umfangsrichtung und mit einer Schrägung bezogen auf die  
35 axiale Richtung angeordnet sind, wobei die Pollücke und die  
Schrägung derart dimensioniert sind, dass sich Pendeldrehmo-  
mente, die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils des  
Statorfelds und des Rotorfelds hervorgerufen werden, gegen-

seitig reduzieren. Die Schrägung weist bei axialer Projektion einen Schrägungswinkel in Umfangsrichtung bezogen auf die Polteilung von 40 % bis 57,2 % auf. Die Pollücke liegt bezogen auf die Polteilung im Bereich von 20 % bis 42,9 %.

5

Der in der genannten Patenschrift offenbarte Schrägungswinkel wirkt sich hinsichtlich seiner Größe jedoch nachteilig auf ein Nutzdrehmoment der permanenterregten Synchronmaschine aus.

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Pendeldrehmomente einer permanenterregten Synchronmaschine zu reduzieren und gleichzeitig ein hohes Nutzdrehmoment bereitzustellen.

15

Die Lösung der Aufgabe gelingt durch die Merkmale des Anspruchs 1, d. h. eine permanenterregte Synchronmaschine, die für einen Dreiphasen-Betrieb ausgelegt ist, mit einem Stator und einem Rotor, auf dem Permanentmagnete mit einer Polbedeckung in Umfangsrichtung und mit einer Schrägung bezogen auf

20

eine Maschinenachse der permanenterregten Synchronmaschine angeordnet sind, wobei die Polbedeckung und die Schrägung derart dimensioniert sind, dass sich Pendeldrehmomente, die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils eines Statorfelds und eines Rotorfelds hervorgerufen werden, gegenseitig reduzieren, wobei die Schrägung bezüglich der Maschinenachse einen Schrägungswinkel in Umfangsrichtung im Bereich von 10° bis 20°, vorzugsweise von 14° bis 16°, aufweist, wobei die Polbedeckung im Bereich von 75% bis 90%, vorzugsweise von 80% bis 86%, liegt.

30

Permanenterregte Synchronmaschinen umfassen einen Stator und einen Rotor. Um eine Permanenterregung zu erreichen, umfasst der Rotor ein Rotorpaket, vorzugsweise in Form eines Blechpakets, sowie Permanentmagnete. Die Permanentmagnete sind vorzugsweise auf dem Rotorpaket angeordnet und übertragen das Drehmoment auf eine an dem Rotor befestigte Welle. Permanent-  
erregte Synchronmaschinen, insbesondere Servomotoren, werden in vielen Gebieten eingesetzt. Hierzu zählen Industrieanla-

35

gen, Werkzeugmaschinen, Fahrzeugantriebe oder auch Industrieroboter. Sie weisen eine hohe Leistungsdichte und einen hohen Wirkungsgrad auf. Zudem sind permanenterregte Synchronmaschinen wartungsarm.

5

Die Erfindung eignet sich besonders gut für Servomotoren, da Servomotoren vorzugsweise als permanenterregte Synchronmotoren ausgeführt sind und vorzugsweise ausgeprägte Pole und Pollücken aufweisen. Anwendungen, in welchen Servomotoren eingesetzt werden, reagieren empfindlich auf Drehzahlschwankungen bzw. Pendeldrehmomente.

10

Durch die Erfindung können Pendeldrehmomente einer permanent-erregten Synchronmaschine reduziert und gleichzeitig ein hohes Nutzdrehmoment bereitgestellt werden. Eine hohe Polbedeckung und ein geringer Schrägungswinkel ermöglichen ein hohes Nutzdrehmoment.

15

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist der Stator der permanenterregten Synchronmaschine als Wicklungssystem eine Zahnspulenwicklung auf.

20

Sogenannte Zahnspulenwicklungen umfassen Einzelspulen mit einer Spulenweite, die vorzugsweise einer Nutteilung entspricht. Die Einzelspulen umfassen genau einen Zahn. Sie werden daher als Zahnspulen bezeichnet.

25

Eine Zahnspulenwicklung weist eine sehr kurze Wickelkopflänge auf, was bezüglich einer kompakten Bauweise der Synchronmaschine vorteilhaft ist. Sie ermöglicht zudem eine höhere Nutzfüllung als bei anderen Wicklungssystemen, was bezüglich einer Leistungsdichte der Synchronmaschine vorteilhaft ist. Ferner wird keine Phasentrennung im Nutbereich benötigt, was sich positiv auf Fertigungskosten der Synchronmaschine auswirkt. Eine modulare und automatisierte Fertigung, die bei Zahnspulenwicklungen möglich ist, sowie eine einfache Wickeltechnik wirken zudem kostensenkend.

30

35

Durch die Zahnspulenwicklung ist ein Widerstand eines Wicklungsstrangs außerdem deutlich verringert, wodurch Stromwärmeverluste geringer sind. Die Synchronmaschine ist dadurch äußerst energieeffizient.

5

Die Zahnspulenwicklung wird bevorzugt bei Servomotoren oder auch Torquemotoren eingesetzt.

10

Es sind jedoch auch andere Wicklungsarten - z. B. eine verteilte Wicklung - möglich.

15

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Polbedeckung und die Schrägung derart dimensioniert, dass sich Pendeldrehmomente, die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils des Statorfelds und des Rotorfelds hervorgerufen werden, im Wesentlichen kompensieren.

20

Die fünfte und die siebte Oberwelle werden hierbei nicht einzeln für sich reduziert bzw. kompensiert. Vielmehr wird eine Phasenlage der fünften Oberwelle und siebten Oberwelle zueinander betrachtet und mittels des erfindungsgemäßen Schrägungswinkels und der Polbedeckung erreicht, dass eine resultierende Drehmomentpendelung aus der fünften und siebten Oberwelle gleich null oder zumindest nahezu null ist.

25

Die resultierende Drehmomentwelligkeit kann dadurch auf ein Minimum reduziert werden.

30

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Permanentmagnete zur Ausbildung der Schrägung in Umfangsrichtung gestaffelt angeordnet.

35

Schräg ausgeführte Magnete sind teuer und müssen meist für jede Rotorlänge und den gewünschten Schrägungswinkel gesondert gefertigt werden. Die gestaffelte Anordnung der Permanentmagnete ist kostengünstiger, unter anderem weil Magnete vorgefertigt werden können. Auch die Fertigung des Rotors gelingt leichter.

Vorzugsweise sind die Permanentmagnete rund um den Rotor angeordnet und als außenliegende Magnete ausgeführt. Diese Art der Magnetanordnung erlaubt eine leichte und kostengünstige  
5 Fertigung des Rotors.

Jedoch ist auch eine Einbettung der Permanentmagnete - auch als innenliegende Magnete bekannt - in den Rotor möglich, wenn sehr hohe Drehzahlen erforderlich sind.  
10

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Permanentmagnete als Plättchen-, Ring-, Brotlaib- oder Schalenmagnete ausgeführt. Die Permanentmagnete können auch als randabgesenkte Schalenmagnete oder als Magnete konstanter Höhe mit am Rand vergrößertem Luftspalt ausgeführt  
15 sein. Ferner sind auch andere Magnetformen möglich.

Als Permanentmagnete eignen sich besonders gut Hochenergiemagnete, vorzugsweise Legierungen aus Neodym-Eisen-Bohr  
20 oder Samarium-Kobalt. Hochenergiemagnete werden bei elektrischen Synchronmaschinen bevorzugt, da dadurch eine kompakte Anordnung der elektrischen Maschine bewerkstelligt werden kann. Jedoch können auch Ferritmagnete eingesetzt werden. Bei gleicher Bauart weist eine permanenterregte Synchronmaschine  
25 mit Ferritmagneten aber ein geringeres Drehmoment auf als eine permanenterregte Synchronmaschine mit Hochenergiemagneten.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist auf dem Rotor ein magnetisierbares Material, vorzugsweise  
30 im Wesentlichen parallel zur Maschinenachse, aufgebracht, wobei zur Ausbildung eines Permanentmagneten das magnetisierbare Material mit dem Schrägungswinkel schräg aufmagnetisiert ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist die Schrägung bezüglich der Maschinenachse einen Schrägungswinkel in Umfangsrichtung von  $15^\circ$  auf.  
35

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung liegt die Polbedeckung bei 84%.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist die permanenterregte Synchronmaschine eine Lochzahl  $q$  von  $1/2$ , eine Statornutzahl  $Q$  von 12 und eine Polzahl  $2p$  von 8 auf.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

FIG 1 eine Ausgestaltung eines Rotors einer permanenterregten Synchronmaschine,

15

FIG 2 einen Ausschnitt aus FIG 1 mit Blick in Richtung der Maschinenachse,

FIG 3 eine Ausgestaltung des Rotors mit gestaffelt und geschrägt angeordneten Permanentmagneten,

20

FIG 4 eine Ausgestaltung des Rotors, auf welchem magnetisierbares Material aufgebracht ist,

FIG 5 ein Diagramm, das die Drehmomentwelligkeit, die durch die fünfte und siebte Oberwelle erzeugt wird, in Abhängigkeit des Schrägungswinkels und der Polbedeckung darstellt,

25

FIG 6 ein Diagramm, das die Drehmomentwelligkeit, die durch die fünfte und siebte Oberwelle erzeugt wird, in Abhängigkeit des Schrägungswinkels und der Polbedeckung darstellt,

30

FIG 7 ein Diagramm, das ebenso die Drehmomentwelligkeit, die durch die fünfte und siebte Oberwelle erzeugt wird, darstellt, jedoch in Abhängigkeit des Verhältnisses von

35

Schrägungswinkel zu Polteilung und des Verhältnisses von Pollücke zu Polteilung,

5 FIG 8 eine Ausgestaltung der permanenterregten Synchronmaschine.

10 FIG 1 zeigt eine Ausgestaltung eines Rotors 1 einer permanenterregten Synchronmaschine. Der Rotor weist eine Welle 2 entlang einer Maschinenachse 3 auf. Der Rotor 1 umfasst ferner Permanentmagnete 4, die auf einem Rotorpaket, vorzugsweise auf einem Blechpaket 5, angeordnet sind. Die Permanentmagnete 4 sind bezüglich eines Pols gestaffelt und mit einer Schrägung mit einem Schrägungswinkel  $\alpha_S$  angeordnet. Eine Polbedeckung und die Schrägung sind derart dimensioniert, dass  
15 sich Pendeldrehmomente, die durch eine fünfte und siebte Oberwelle jeweils eines Statorfelds und eines Rotorfelds hervorgerufen werden, gegenseitig reduzieren bzw. sogar kompensieren.

20 FIG 2 zeigt einen Ausschnitt aus FIG 1 mit Blick in Richtung der Maschinenachse 3. Die Figur zeigt die Welle 2 sowie auf dem Blechpaket 5 angeordnete Permanentmagnete 4. Ein durch den Permanentmagnet 4 ausgebildeter Pol weist die Polbreite  $b_m$  und die Polteilung  $\tau_p$  auf.

25 Es gilt vorzugsweise:  $ap = \frac{b_m}{\tau_p}$  mit Polbedeckung  $ap$ , Polbreite  $b_m$  und Polteilung  $\tau_p$ .

30 Ferner zeigt die Figur eine Pollücke  $pl$ .

FIG 3 zeigt eine Ausgestaltung des Rotors 1 mit gestaffelt und geschrägt angeordneten Permanentmagneten 4. Die Welle 2 ist entlang der Maschinenachse 3 angeordnet. Die Figur zeigt die Pollücke  $pl$ , die Polbreite  $b_m$  und die Polteilung  $\tau_p$ .

35 Die Figur zeigt zudem den Schrägungswinkel  $\alpha_S$ . Beim Blick in Richtung der Maschinenachse 3 ist dieser bezüglich einer Vorderansicht V abgebildet.

Der Schrägungswinkel  $\alpha_S$  liegt im Bereich zwischen  $10^\circ$  und  $20^\circ$ , vorzugsweise zwischen  $14^\circ$  und  $16^\circ$ . Die Polbedeckung  $a_p$  liegt im Bereich von 75% bis 90%, vorzugsweise von 80% bis 86%. Die besten Ergebnisse bezüglich einer Drehmomentwelligkeit der permanenterregten Synchronmaschine werden mit einem Schrägungswinkel  $\alpha_S$  von  $15^\circ$  und einer Polbedeckung  $a_p$  von 82,5% erreicht.

FIG 4 zeigt eine Ausgestaltung des Rotors 1, auf welchem magnetisierbares Material 6 aufgebracht ist. Das magnetisierbare Material 6 wurde schräg mit einem Schrägungswinkel  $\alpha_S$  aufmagnetisiert, wodurch der Permanentmagnet 41 geschaffen wurde.

Beim Blick in Richtung der Maschinenachse 3 ist der Schrägungswinkel  $\alpha_S$  bezüglich einer Vorderansicht V abgebildet.

Die Figur zeigt die Welle 2 entlang der Maschinenachse 3. Die Polbreite  $b_m$  ist von einem vorderen axialen Ende des Rotors 1 bis zu einem hinteren axialen Ende des Rotors 1 gleich. Jedoch kann die Polbreite  $b_m$  an verschiedenen Stellen des Rotors 1 auch verschieden breit sein.

FIG 5 und FIG 6 zeigen Diagramme, die die Drehmomentwelligkeit, die durch die fünfte und siebte Oberwelle erzeugt wird, in Abhängigkeit des Schrägungswinkels  $\alpha_S$  und der Polbedeckung  $a_p$  darstellen.

Ein Bereich A zeigt den Stand der Technik der weiter oben genannten Patentschrift EP 2139100 A1 mit einem Schrägungswinkel  $\alpha_S$  von  $18^\circ$  bis  $25,74^\circ$  und einer Polbedeckung  $a_p$  von 57,1% bis 80%.

Ein Bereich B zeigt die Drehmomentwelligkeit bei einem Schrägungswinkel  $\alpha_S$  von  $14^\circ$  bis  $16^\circ$  und einer Polbedeckung  $a_p$  von 80% bis 86%. Besonders durch FIG 6 wird ersichtlich, dass im Bereich B eine deutlich geringere Drehmomentwelligkeit auf-

tritt. FIG 6 zeigt hierfür die Drehmomentwelligkeit  $d_m$  in Prozent bezogen auf ein Nutzdrehmoment.

FIG 7 zeigt ein Diagramm, das ebenso die Drehmomentwelligkeit, die durch die fünfte und siebte Oberwelle erzeugt wird, darstellt, jedoch in Abhängigkeit des Verhältnisses von Schrägungswinkel  $\alpha_S$  zu Polteilung  $\tau_p$  und des Verhältnisses von Pollänge  $p_l$  zu Polteilung  $\tau_p$ .

10 Auch hier werden der Stand der Technik (Bereich A) und die im Rahmen dieser Erfindung offenbarten Werte (Bereich B) gegenübergestellt.

15 FIG 8 zeigt eine Ausgestaltung der permanenterregten Synchronmaschine 10. Diese umfasst einen Stator mit Zähnen 11 und Wicklungen 12 sowie einen Rotor ringsum die Welle 2. Der Rotor weist ein Blechpaket 5 sowie Permanentmagnete 4 auf.

## Patentansprüche

1. Permanenterregte Synchronmaschine (10), die für einen Dreiphasen-Betrieb ausgelegt ist, mit
- 5 - einem Stator und  
- einem Rotor, auf dem Permanentmagnete (4) mit einer Polbedeckung (ap) in Umfangsrichtung und mit einer Schrägung bezogen auf eine Maschinenachse (3) der permanenterregten Synchronmaschine (10) angeordnet sind,
- 10 wobei die Polbedeckung (ap) und die Schrägung derart dimensioniert sind, dass sich Pendeldrehmomente, die durch die fünfte und siebte Oberwelle jeweils eines Statorfelds und eines Rotorfelds hervorgerufen werden, gegenseitig reduzieren, dadurch gekennzeichnet, dass die Schrägung bezüglich der Maschinenachse (3) einen Schrägungswinkel ( $\alpha_S$ ) in Umfangsrichtung im Bereich von  $14^\circ$  bis  $16^\circ$  aufweist, wobei die Polbedeckung (ap) im Bereich von 80% bis 86% liegt.
- 15
2. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach Anspruch 1, wobei der Stator der permanenterregten Synchronmaschine (10) als Wicklungssystem eine Zahnspulenwicklung aufweist.
- 20
3. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Permanentmagnete (4) zur Ausbildung der Schrägung in Umfangsrichtung gestaffelt angeordnet sind.
- 25
4. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei auf dem Rotor ein magnetisierbares Material (6), vorzugsweise im Wesentlichen parallel zur Maschinenachse (3), aufgebracht ist, wobei zur Ausbildung eines Permanentmagneten (41) das magnetisierbare Material (6) mit dem Schrägungswinkel ( $\alpha_S$ ) schräg aufmagnetisiert ist.
- 30
5. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Schrägung bezüglich der Maschinenachse (3) einen Schrägungswinkel ( $\alpha_S$ ) in Umfangsrichtung von  $15^\circ$  aufweist.
- 35

6. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Polbedeckung ( $\alpha_p$ ) bei 84% liegt.

- 5 7. Permanenterregte Synchronmaschine (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die permanenterregte Synchronmaschine (10) eine Lochzahl  $q$  von  $1/2$ , eine Statornutzahl  $Q$  von 12 und eine Polzahl  $2p$  von 8 aufweist.

FIG 1

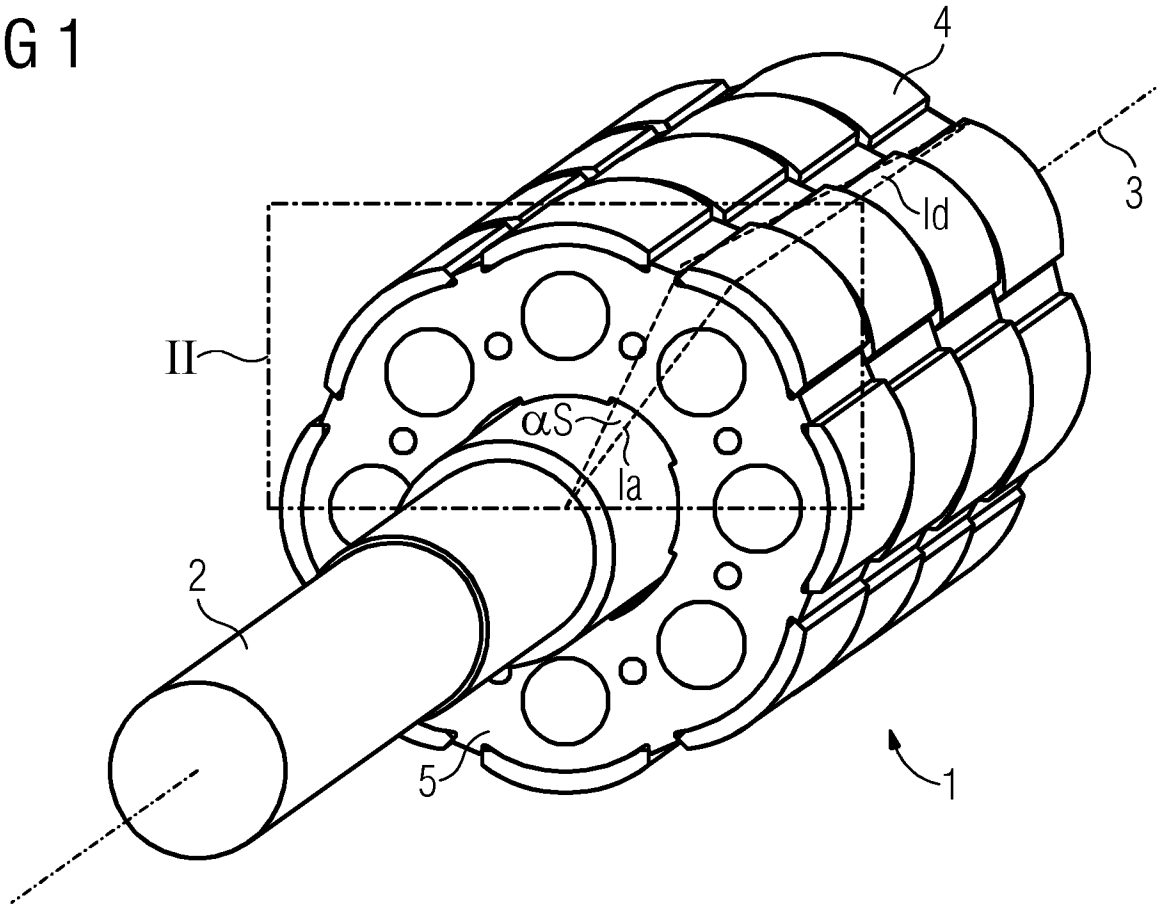


FIG 2

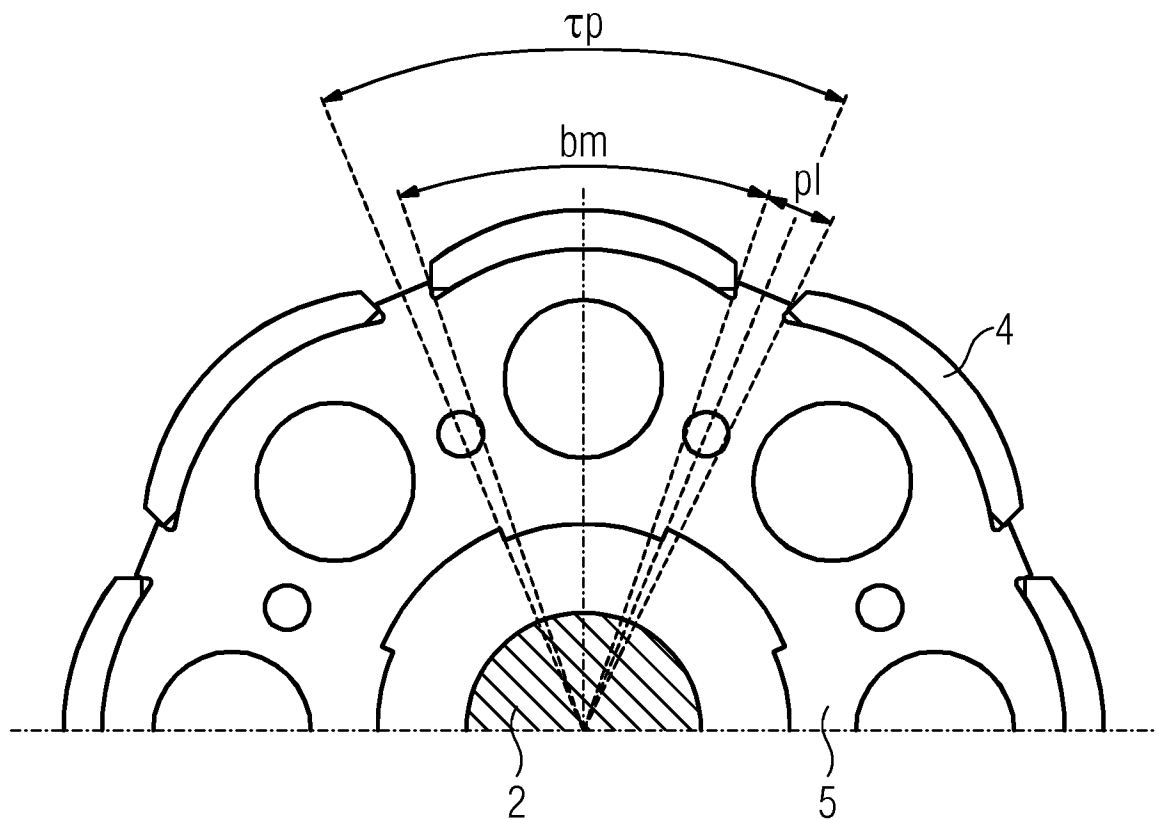


FIG 3

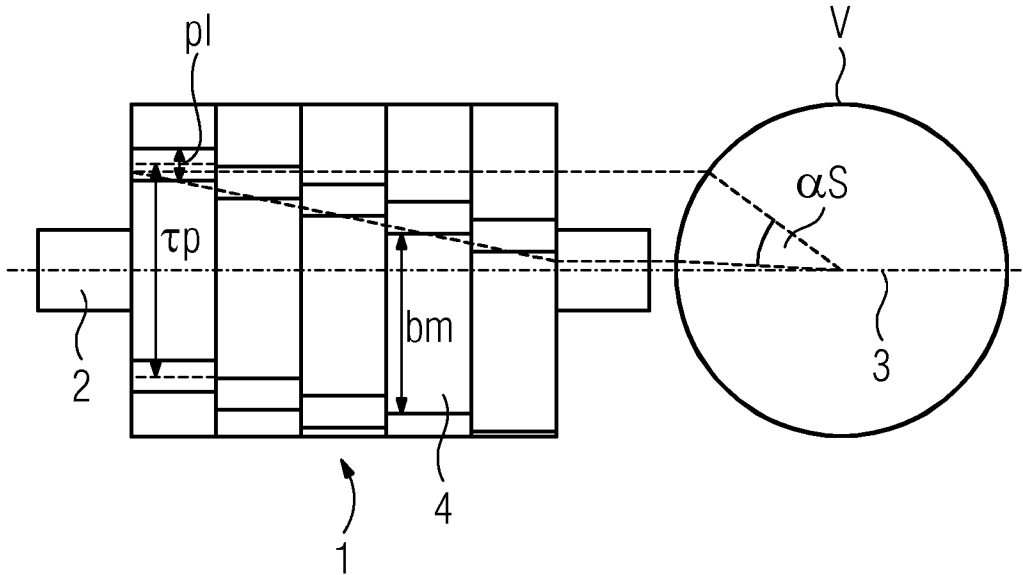


FIG 4

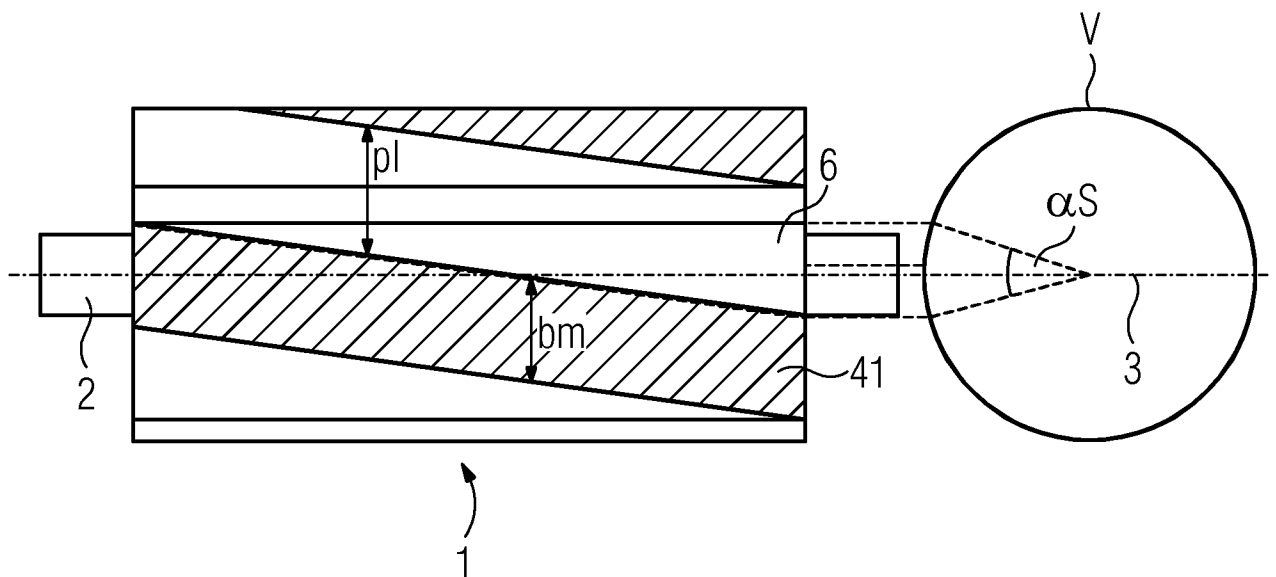


FIG 5

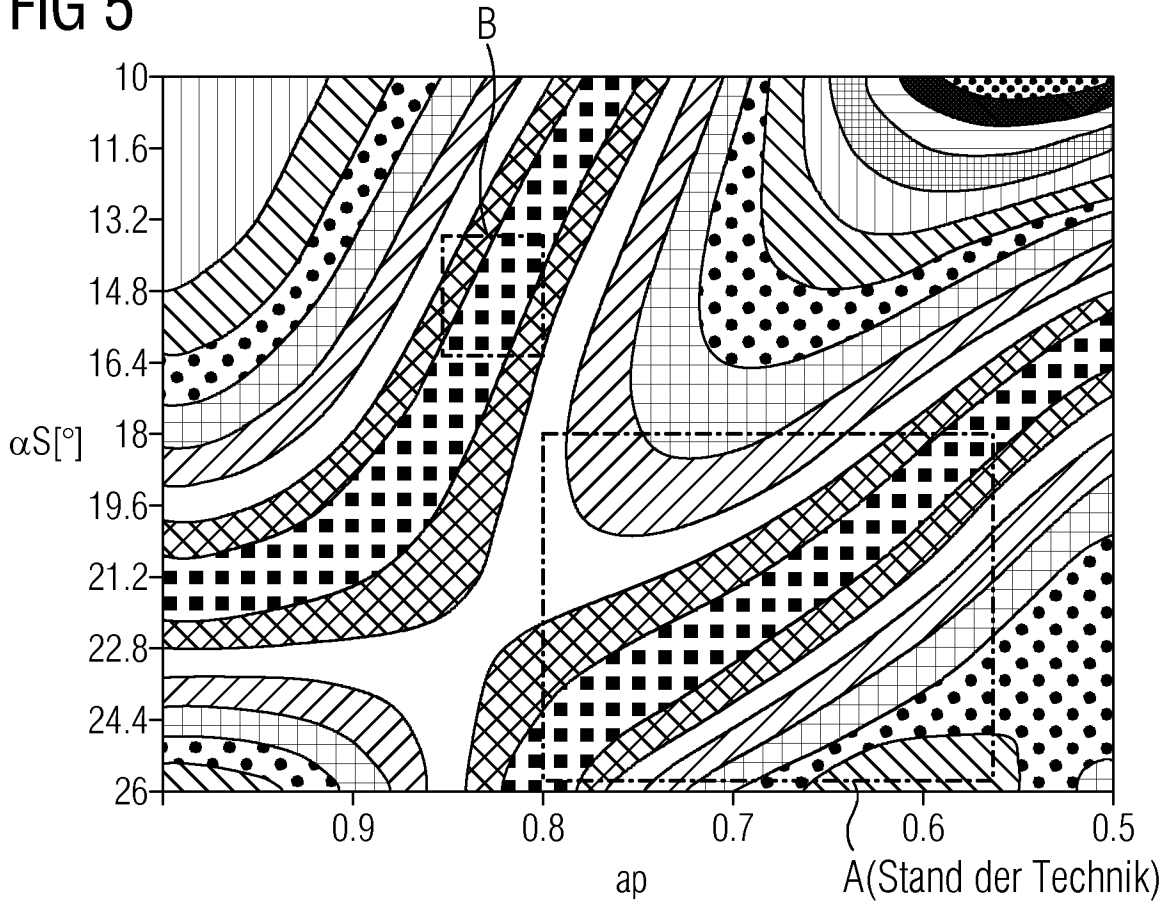


FIG 6

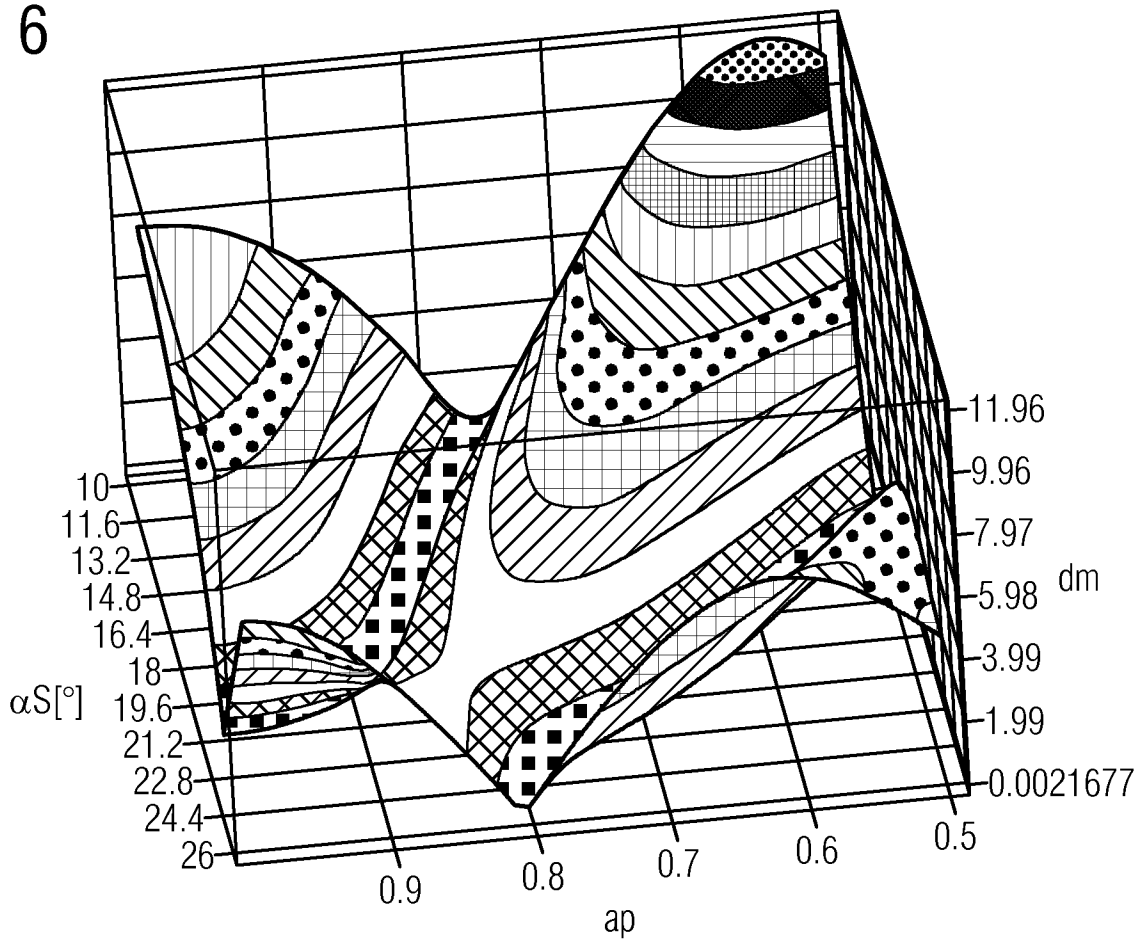


FIG 7

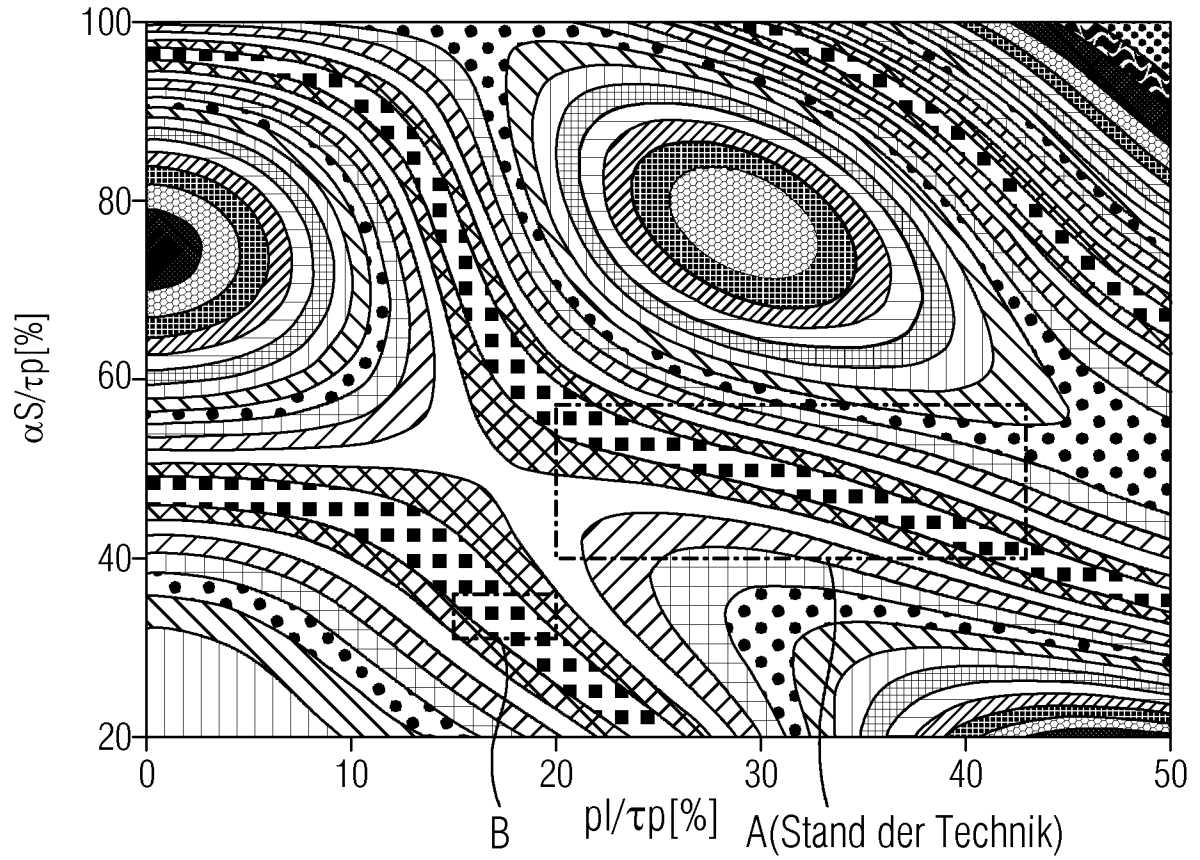
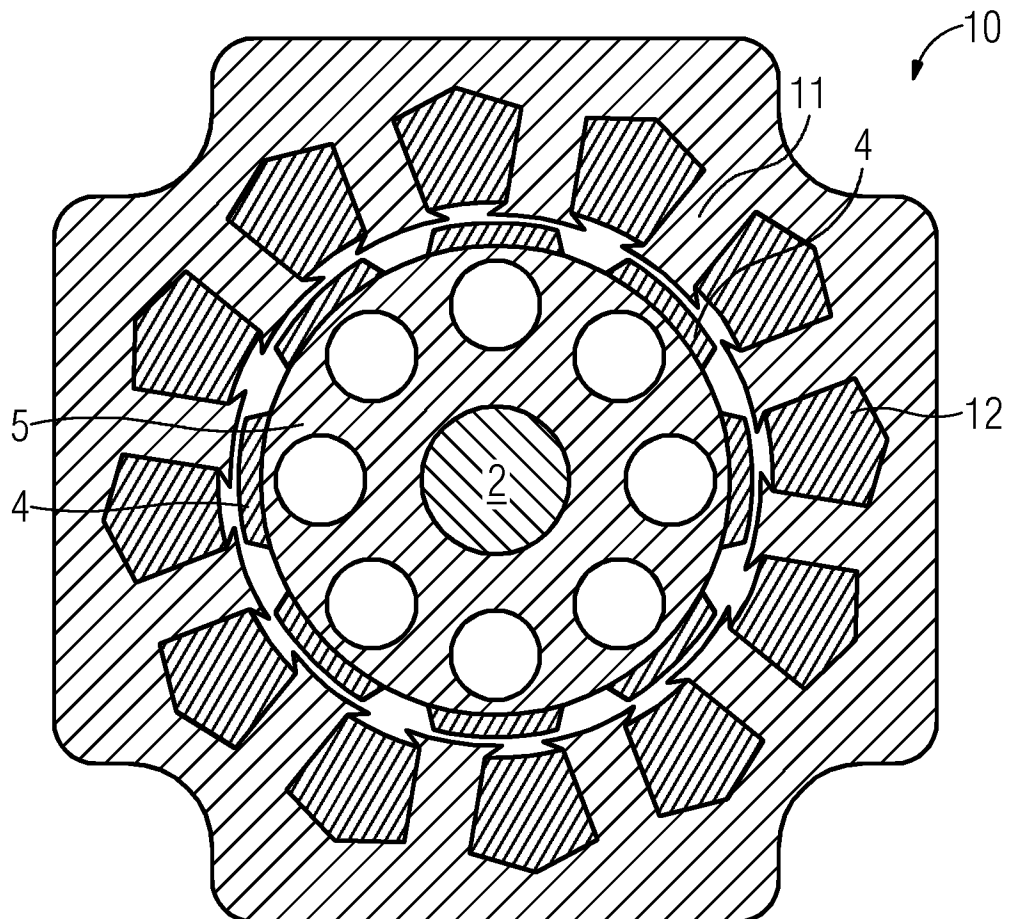


FIG 8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/EP2019/050311**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H02K 1/27</b> (2006.01)i; <b>H02K 21/16</b> (2006.01)i; <b>H02K 15/03</b> (2006.01)i; <b>H02K 29/03</b> (2006.01)n		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
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		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002101126 A1 (CRAPO ALAN D [US] ET AL) 01 August 2002 (2002-08-01) paragraphs [0005] - [0006], [0040]; figures 1-6a	1-7
X	US 2002047431 A1 (FUKUSHIMA TETSUHARU [JP]) 25 April 2002 (2002-04-25) paragraph [016-]; figures 1-7	1-7
X	WO 2004109894 A1 (SIEMENS AG [DE]; POTORADI DETLEF [DE]) 16 December 2004 (2004-12-16) page 3, line 7 - page 4, line 33; claims 1-5; figures 1-3	1-7
X	DE 10348401 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 19 May 2004 (2004-05-19) paragraphs [0045] - [0053]; figures 1-21	1-7
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier 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 <b>18 February 2019</b>		Date of mailing of the international search report <b>26 February 2019</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer  <b>Maître, Jérôme</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2019/050311**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2002101126	A1	01 August 2002	AU	2002237967	A1	12 August 2002
				CN	1489821	A	14 April 2004
				EP	1356574	A2	29 October 2003
				US	2002101126	A1	01 August 2002
				US	2003201137	A1	30 October 2003
				WO	02060740	A2	08 August 2002
US	2002047431	A1	25 April 2002	JP	2001314050	A	09 November 2001
				US	2002047431	A1	25 April 2002
WO	2004109894	A1	16 December 2004	DE	10326167	A1	05 January 2005
				JP	4480720	B2	16 June 2010
				JP	2006527578	A	30 November 2006
				US	2007170802	A1	26 July 2007
				WO	2004109894	A1	16 December 2004
				DE	10348401	A1	19 May 2004
DE	10348401	A1	19 May 2004	CN	1497818	A	19 May 2004
				DE	10348401	A1	19 May 2004
				US	2004124728	A1	01 July 2004
				US	2006192456	A1	31 August 2006

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/050311

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. H02K1/27 H02K21/16 H02K15/03  
 ADD. H02K29/03

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	US 2002/101126 A1 (CRAPO ALAN D [US] ET AL) 1. August 2002 (2002-08-01) Absätze [0005] - [0006], [0040]; Abbildungen 1-6a	1-7
X	US 2002/047431 A1 (FUKUSHIMA TETSUHARU [JP]) 25. April 2002 (2002-04-25) Absatz [016-]; Abbildungen 1-7	1-7
X	WO 2004/109894 A1 (SIEMENS AG [DE]; POTORADI DETLEF [DE]) 16. Dezember 2004 (2004-12-16) Seite 3, Zeile 7 - Seite 4, Zeile 33; Ansprüche 1-5; Abbildungen 1-3	1-7
X	DE 103 48 401 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 19. Mai 2004 (2004-05-19) Absätze [0045] - [0053]; Abbildungen 1-21	1-7

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	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
18. Februar 2019	26/02/2019

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  Maître, Jérôme
--	---

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/050311

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002101126 A1	01-08-2002	AU 2002237967 A1	12-08-2002
		CN 1489821 A	14-04-2004
		EP 1356574 A2	29-10-2003
		US 2002101126 A1	01-08-2002
		US 2003201137 A1	30-10-2003
		WO 02060740 A2	08-08-2002
-----			
US 2002047431 A1	25-04-2002	JP 2001314050 A	09-11-2001
		US 2002047431 A1	25-04-2002
-----			
WO 2004109894 A1	16-12-2004	DE 10326167 A1	05-01-2005
		JP 4480720 B2	16-06-2010
		JP 2006527578 A	30-11-2006
		US 2007170802 A1	26-07-2007
		WO 2004109894 A1	16-12-2004
-----			
DE 10348401 A1	19-05-2004	CN 1497818 A	19-05-2004
		DE 10348401 A1	19-05-2004
		US 2004124728 A1	01-07-2004
		US 2006192456 A1	31-08-2006
-----			