

(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
9. Februar 2012 (09.02.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/016746 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 1/16 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/059876
- (22) Internationales Anmeldedatum:
15. Juni 2011 (15.06.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 038 764.9
2. August 2010 (02.08.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EVANS, Steven, Andrew** [DE/DE]; Berliner Strasse 10, 77815 Buehl (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

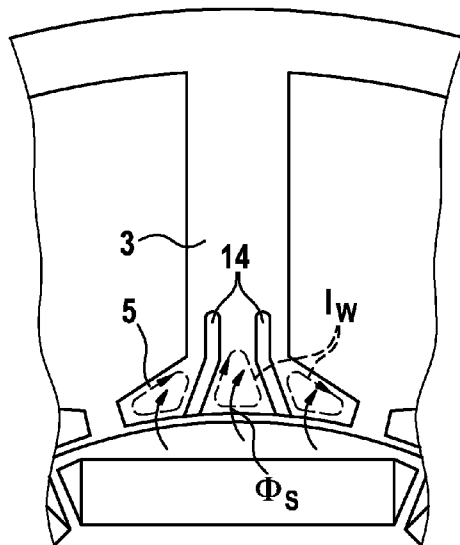
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: WINDING TOOTH AND COMPONENT FOR AN ELECTRICAL MACHINE FOR REDUCING EDDY CURRENTS

(54) Bezeichnung : WICKLUNGSZAHN UND KOMPONENTE FÜR EINE ELEKTRISCHE MASCHINE ZUR REDUZIERUNG VON WIRBELSTRÖMEN

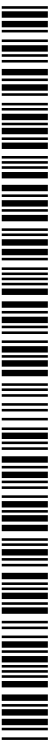
Fig. 4



(57) Abstract: The invention relates to a winding tooth (3) for a component (2) of an electrical machine (1), in particular for a stator and/or a rotor, comprising: a tooth shaft for being wound with a winding coil (4); and a tooth head (5) which is arranged at one end of the tooth shaft with respect to a winding axis; wherein one or more slots (14) are provided at at least one end section of the winding tooth (3), said slots extending along the winding axis through the tooth head (5), wherein the end section corresponds to a region at one or both ends of the winding tooth (3) along a transverse direction which runs substantially perpendicular to the winding axis.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Wicklungszahn (3) für eine Komponente (2) einer elektrischen Maschine (1), insbesondere für einen Stator und/oder einen Läufer, umfassend: einen Zahnschaft zum Bewickeln mit einer Wicklungsspule (4); und einen Zahnkopf (5), der an einem Ende des Zahnschafts bezüglich einer Wicklungsachse angeordnet ist; wobei an mindestens einem Endabschnitt des Wicklungszahns (3) eine oder mehrere Nuten (14) vorgesehen sind, die sich entlang der Wicklungsachse durch den Zahnkopf (5) erstrecken, wobei der Endabschnitt einem Bereich an

einem oder beiden Enden des Wicklungszahns (3) entlang einer im Wesentlichen senkrecht zur Wicklungsachse verlaufenden Querrichtung entspricht.



WO 2012/016746 A2

5 Beschreibung

Titel

Wicklungszahn und Komponente für eine elektrische Maschine zur Reduzierung
von Wirbelströmen

10

Technisches Gebiet

15

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Wicklungszahn einer Komponente für eine elektrische Maschine, insbesondere einen aus Lamellenblechen aufgebauten Wicklungszahn.

Stand der Technik

20

Elektrische Maschinen weisen in der Regel einen Stator und einen sich relativ zu dem Stator bewegenden Läufer auf. Sowohl Stator als auch Läufer können mit Wicklungsspulen umwickelte Zähne tragen, in die beim Betrieb der elektrischen Maschine ein Wechselstrom eingeprägt wird, um ein sich änderndes Magnetfeld zu erzeugen. Das so erzeugte Magnetfeld verläuft durch den Stator- bzw. den Läuferzahn in Richtung des Läufers bzw. des Stators, wobei der Verlauf der Magnetfeldlinien des Magnetfelds und damit die Art der Magnetfeldänderung durch die Formung einer Außenkontur eines auf dem Zahn befindlichen Zahnkopfs bestimmt ist. Hinsichtlich einer Optimierung des Wirkungsgrads und des Laufverhaltens wird bislang nur die Außenkontur in Richtung der relativen Bewegung zwischen dem Läufer und dem Stator angepasst.

30

35

Bewickelte Zähne für Komponenten für elektrische Maschinen sind in der Regel mit Lamellenblechen aufgebaut, um Wirbelströme zu unterbinden, die durch das in dem Zahn verlaufende wechselnde Magnetfeld erzeugt werden. Die Stapelrichtung der Lamellenbleche zum Aufbau der Komponenten entspricht einer Richtung, die senkrecht zur Richtung einer Wicklungsachse des umwickelten

Zahns und im Wesentlichen senkrecht zur relativen Bewegungsrichtung zwischen dem Läufer und dem Stator ist. Insbesondere bei rotatorischen Motoren entspricht diese Stapelrichtung einer axialen Richtung.

5 In dem Luftspalt zwischen Stator und Läufer treten an den Endbereichen der Komponente in Stapelrichtung Randfelder auf, die nicht geradlinig zwischen dem Zahnkopf und dem Läufer bzw. Stator verlaufen, sondern nach außen in Stapelrichtung gewölbt sind und dadurch eine Magnetfeldkomponente in der Stapelrichtung aufweisen. Aufgrund dieser Richtungsänderung des Magnetfelds hin zu den
10 Endbereichen des Zahns in Querrichtung existiert eine Magnetfeldkomponente, die einen Wirbelstrom in der Ebene der Lamellenbleche erzeugt.

Diese durch die Randmagnetfelder erzeugten Wirbelströme weisen eine Frequenz auf, die zur Läufergeschwindigkeit, d.h. zur Drehzahl und zur Polzahl der
15 elektrischen Maschine, proportional ist. Wirbelströme erzeugen im Allgemeinen Verluste, reduzieren somit die Effizienz der elektrischen Maschine und können eine lokale Erwärmung der Zahnköpfe in den Endabschnitten des Komponentenzahns in Stapelrichtung hervorrufen. Weiterhin können Wirbelströme, die in einem Läufer erzeugt werden, ein Bremsmoment bewirken, das das Antriebsmoment reduziert und durch Erhöhen des Motorstroms in der elektrischen Maschine
20 kompensiert werden muss.

Die Druckschrift de Pistoye, H., „ Les pertes parasites aux extrémités du stator des machines à grand pas polaire et les moyens de les réduire“, Revue generale
25 de l'électricité, Februar 5, 1927, Seiten 215 bis 223 offenbart die Anordnung von Nuten in einem Randbereich von Läuferzähnen.

Auch aus der Druckschrift B.C. Mecrow et al., „ Electromagnetic design of turbo-generator stator end regions“, IEE Proceedings, Band 136, Pt.C, Nr. 6, November
30 1989 ist bekannt an Statorzähnen radiale Schlitze anzuordnen, um Wirbelströme in Endbereichen des Statorzahns zu reduzieren.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Komponente für eine elektrische Maschine bereitzustellen, bei der die Erzeugung von Wirbelströmen in dem Wicklungszahn der Komponente in wirksamer Weise reduziert ist.
35

Offenbarung der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch den Wicklungszahn für eine Komponente einer elektrischen Maschine nach Anspruch 1 sowie durch die Komponente für eine elektrische Maschine und eine elektrische Maschine nach den nebengeordneten Ansprüchen gelöst.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß einem ersten Aspekt ist ein Wicklungszahn für eine Komponente einer elektrischen Maschine, insbesondere für einen Stator und/oder einen Läufer, vorgesehen. Der Wicklungszahn umfasst:

- einen Zahnschaft zum Bewickeln mit einer Wicklungsspule; und
- einen Zahnkopf, der an einem Ende des Zahnschafts bezüglich einer Wicklungsachse angeordnet ist.

An mindestens einem Endabschnitt des Wicklungszahns sind eine oder mehrere Nuten vorgesehen, die sich entlang der Wicklungsachse durch den Zahnkopf erstrecken, wobei der Endabschnitt einem Bereich an einem oder beiden Enden des Wicklungszahns entlang einer im Wesentlichen senkrecht zur Wicklungsachse verlaufenden Querrichtung entspricht.

Eine Idee des obigen Wicklungszahns besteht darin, diesen in Endabschnitten bezüglich einer Querrichtung (Stapelrichtung), die senkrecht zur Wicklungsachse des Wicklungszahns und vorzugsweise senkrecht zu einer Bewegungsrichtung einer relativen Bewegung zwischen einem Läufer und einem Stator der elektrischen Maschine ist, mit Nuten zu versehen, um an diesen Endabschnitten die Entstehung von Wirbelströmen durch Magnetfeldkomponenten, die in der Querrichtung verlaufen, zu unterdrücken. Dadurch können die dort auftretenden Wirbelströme reduziert werden, wodurch die Effizienz der elektrischen Maschine erhöht und die Erzeugung von Wärme in den Endabschnitten verringert werden kann.

Weiterhin können sich die eine oder die mehreren Nuten entlang der Wicklungsachse durch einen Teil des Zahnschafts erstrecken, wobei die Länge der einen

oder der mehreren Nuten gleich oder kleiner ist als die Hälfte der Länge des Zahnschafts.

5 Gemäß einer Ausführungsform kann der Wicklungszahn durch Stapeln von Blechlamellen in einer Stapelrichtung gebildet sein, wobei die Stapelrichtung der Querrichtung entspricht.

10 Der Wicklungszahn kann mit einer oder mehreren ersten Blechlamellen einer ersten Geometrie und mit einer oder mehreren zweiten Blechlamellen einer zweiten Geometrie gebildet sein, wobei die ersten Blechlamellen einen oder mehrere Schlitze in dem Bereich aufweisen, der den Zahnkopf und einen Teil des Zahnschafts bildet, so dass die eine oder die mehreren Nuten durch Stapeln der ersten und zweiten Blechlamellen derart, dass die ersten Blechlamellen in dem einen oder den mehreren Endabschnitten des Wicklungszahns angeordnet sind,
15 gebildet werden.

Gemäß einer Ausführungsform können der eine oder die mehreren Schlitze der ersten Blechlamellen an einer dem Zahnschaft gegenüber liegenden Außenkontur des Zahnkopfes münden oder kurz vor Erreichen der Außenkontur enden, so
20 dass ein Steg mit einer Breite von 0,5 % bis 10 %, bevorzugt 1 % bis 5 %, der Länge des Wicklungszahns gebildet wird.

Weiterhin können der eine oder die beiden Endabschnitte einen Anteil der Länge in Querrichtung des Wicklungszahns einnehmen, der zwischen 0,5 % und 10 %,
25 insbesondere zwischen 1 % und 10 %, insbesondere zwischen 1 % und 5 %, liegt.

Es kann vorgesehen sein, dass der Zahnkopf in einer Bewegungsrichtung an mindestens einer Seite über den Zahnschaft übersteht, wobei mindestens eine
30 der Nuten gewinkelt ist und wobei ein Abschnitt der Nut, der in dem Zahnschaft verläuft, sich parallel zur Wicklungsachse des Wicklungszahns erstreckt und/oder wobei ein Abschnitt der Nut, der in dem Zahnkopf verläuft, schräg in Richtung der Bewegungsrichtung von der Wicklungsachse des Wicklungszahns absteht.

35 Weiterhin können die Nuten so innerhalb des Wicklungszahns verlaufen, dass ein Bereich des Wicklungszahns im Endabschnitt in mehrere Teile unterteilt ist,

wobei die Teile des Wicklungszahns im Endabschnitt einen identischen Flächenbereich ausmachen.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Komponente, insbesondere ein Stator oder ein Läufer für eine elektrische Maschine, mit einem oder mehreren der obigen Wicklungszähnen vorgesehen.

10 Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine elektrische Maschine mit einem Stator und einem Läufer vorgesehen, wobei der Stator und/oder der Läufer als obige Komponente ausgebildet ist und wobei die Querrichtung senkrecht zu einer Bewegungsrichtung einer relativen Bewegung zwischen dem Stator und dem Läufer verläuft.

15 Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 20 Figur 1 einen Querschnitt einer mehrphasigen permanentmagneterregten elektrischen Maschine mit Innenläufer;
- Figur 2 eine Schnittansicht durch die elektrische Maschine der Figur 1 in der Ebene A-A;
- 25 Figur 3 eine schematische Darstellung des Verlaufs des magnetischen Randflusses in der in Figur 1 dargestellten Querschnittsebene und der dadurch erzeugten Wirbelströme bei ungenutzten Statorzähnen;
- 30 Figur 4 eine schematische Darstellung des Verlaufs des magnetischen Randflusses in der in Figur 1 dargestellten Querschnittsebene und der dadurch erzeugten Wirbelströme bei genutzten Statorzähnen;

- Figur 5 eine schematische Darstellung der Geometrie eines ersten Lamellenblechs zum Aufbau des Statorzahns der Figur 4 im Endabschnitt;
- 5 Figur 6 eine schematische Darstellung der Geometrie eines zweiten Lamellenblechs zum Aufbau eines Statorzahns der Figur 4 in einem Mittenabschnitt;
- 10 Figur 7 eine schematische Darstellung einer weiteren Geometrie für ein erstes Lamellenblech zum Aufbau des Randbereichs eines Statorzahns;
- 15 Figur 8 eine schematische Querschnittsdarstellung einer bürstenkommutierten elektrischen Maschine mit Innenläufer;
- Figur 9 eine Schnittansicht in der Ebene B-B der elektrischen Maschine der Figur 8;
- 20 Figur 10 eine schematische Darstellung des Verlaufs des magnetischen Randflusses in der in Figur 8 dargestellten Querschnittsebene und der dadurch erzeugten Wirbelströme bei ungenutzten Rotorzähnen;
- 25 Figur 11 eine schematische Darstellung des Verlaufs des magnetischen Randflusses in der in Figur 8 dargestellten Querschnittsebene und der dadurch erzeugten Wirbelströme bei genutzten Rotorzähnen;
- 30 Figur 12 eine schematische Darstellung der Geometrie eines ersten Lamellenblechs zum Aufbau des Endabschnitts des Rotorzahns;
- 35 Figur 13 eine schematische Darstellung der Geometrie eines zweiten Lamellenblechs zum Aufbau eines Mittenabschnitts des Rotorzahns der Figur 11; und

Figur 14 eine weitere Geometrie eines ersten Lamellenblechs zum Aufbau eines Endabschnitts eines Rotorzahns.

Beschreibung von Ausführungsformen

5

Figur 1 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung einer dreiphasigen bürstenlosen permanentmagneterregten elektrischen Maschine mit Innenläufer als Beispiel für eine elektrische Maschine 1. Die elektrische Maschine 1 umfasst einen zylindrischen Stator 2 mit nach innen gerichteten Statorzähnen 3. Im vorliegenden Beispiel umfasst der Stator 2 zwölf Statorzähne 3, die jeweils mit einer Statorspule 4 als Wicklungsspule umwickelt sind. Die Statorspulen 4 sind gemäß einem bekannten Schema für eine dreiphasigen elektrischen Maschine miteinander verschaltet.

10

15

An einem nach innen gerichteten Ende der Statorzähne 3 sind Zahnköpfe 5 vorgesehen, die jeweils eine dem Zahnschaft gegenüber liegende Außenkontur aufweisen. Die Außenkonturen der Zahnköpfe 5 bilden eine Innenausnehmung 6 aus, die im Wesentlichen konzentrisch zu dem zylindrischen Stator 2 ist.

20

25

In der Innenausnehmung 6 ist ein Rotor 7 als Läufer der elektrischen Maschine 1 angeordnet. Der Rotor 7 weist in diesem Beispiel in Taschen angeordnete vergrabene Permanentmagnete 8 auf. Der Rotor 7 der in Fig. 1 beispielhaft gezeigten elektrischen Maschine 1 umfasst acht Permanentmagnete, die jeweils einen Rotorpol 9 ausbilden. Zwischen einer Außenkontur der Rotorpole 9 und der Außenkontur der Zahnköpfe 5, die einander gegenüber liegen, ist ein Luftspalt 10 ausgebildet, in dem die von den Permanentmagneten 8 und den im Betrieb bestromten Statorspulen 4 erzeugten Magnetfelder verlaufen.

30

35

In Figur 2 ist eine Querschnittsdarstellung in der Schnittansicht A-A der elektrischen Maschine der Figur 1 dargestellt. Man erkennt die laminierte Aufbauweise des Rotors 7 und des Stators 2, die jeweils aus in einer Stapelrichtung A (axiale Richtung) gestapelten Blechlamellen aufgebaut sind. Man erkennt, dass innerhalb des Luftspalts 10 im Inneren des axialen Verlaufs des Statorzahns 3 und des Rotorpols 9 die Magnetfeldlinien im Wesentlichen senkrecht zur Außenkontur des Zahnkopfs 5 und des Rotorpols 9 verlaufen. Lediglich an den Endabschnitten E an den Enden des Statorzahns 3 in axialer Richtung A tritt ein mag-

netischer Fluss auf, der aus den Seitenflächen der Endabschnitte E des Statorzahns 3 und des Rotorpols 9 austritt.

5 Durch die Bewegung des Rotors 7 und durch die wechselnde Bestromung der Statorspulen 4 kommt es zu einem sich ändernden magnetischen Fluss zwischen den Rotorpolen 9 und den Statorzähnen 3, so dass sich auch der Anteil des magnetischen Flusses Φ_S des Magnetfelds ändert, der aus den Seitenflächen der Endabschnitte (die senkrecht zur Stapelrichtung verlaufen) austritt. Dieser Anteil des Flusses wird im Folgenden als magnetischer Randfluss bezeichnet. 10 Durch den magnetischen Randfluss können in den Blechlamellen Wirbelströme I_W induziert werden, wie sie beispielsweise in Figur 3 dargestellt sind. Ein möglicher Verlaufsweg des Wirbelstroms ist durch die gestrichelte geschlossene Linie dargestellt.

15 In Figur 4 ist ein Ausschnitt eines Querschnitts einer elektrischen Maschine dargestellt, bei dem die Endabschnitte eines Statorzahns 3 mit Nuten 14 versehen sind. Die Nuten 14 an den Endabschnitten des Statorzahns 3 bewirken, dass sich die aufgrund des Anteils des aus den Seitenflächen austretenden magnetischen Flusses Φ_S auftretenden Wirbelströme nicht ausbreiten und stattdessen 20 nur deutlich kleinere Schleifen aus Wirbelströmen entstehen können. Diese sind durch die gestrichelten geschlossenen Linien dargestellt. Der mit den Nuten 14 versehene Endabschnitt wird vorzugsweise bei einer Lamellenaufbauweise des Stators 2 durch eine Geometrie eines Lamellenblechs aufgebaut, die von der Geometrie der Lamellenbleche zum Aufbau eines Mittenabschnitts des Stators 25 verschieden ist.

Figur 5 zeigt ein erstes Lamellenblech 11 mit einer ersten Blechgeometrie für die Herstellung der Endabschnitte der Statorzähne 3, während Figur 6 ein zweites Lamellenblech 12 mit einer zweiten Blechgeometrie für einen Mittenabschnitt der 30 Statorzähne 3 darstellt. Im Unterschied zu den zweiten Lamellenblechen 12 weist das erste Lamellenblech 11 Schlitz 15 auf, die die Nuten des Zahnkopfs 5 bilden sollen. Durch Stapeln der zweiten Lamellenbleche 12 mit der zweiten Blechgeometrie wird der Mittenabschnitt des Statorzahns 3 ausgebildet. An den in axialer Richtung befindlichen Endabschnitten werden dann jeweils eines oder mehrere 35 erste Lamellenbleche 11 mit der ersten Blechgeometrie aufgebracht, so dass ein an sich massiver Statorzahn 3 ausgebildet wird, dessen Endabschnitte

mit Nuten versehen sind. Die Länge der Endabschnitte beträgt beispielsweise zwischen 0,5 % und 5 % der gesamten Länge des Statorzahns 3 in Stapelrichtung.

5 Mit Bezug auf Fig. 5 ist die Länge h_N der Schlitze 15 bezüglich der Länge h_{Zahn} des Statorzahns 3 in axialer Richtung A gering und beträgt nicht mehr als vorzugsweise 0,5 bis 5%, insbesondere 1 bis 2% der Länge h_{Zahn} des Statorzahns 3. Die Zahl und Form der in einem Zahnkopf 5 angeordneten Nuten 14 ist im Wesentlichen beliebig. Bereits ein Schlitz 15 bzw. die dadurch im Statorzahn gebil-

10 dete Nut 14 ist ausreichend, um einen spürbaren Effekt zur Reduzierung der Wirbelströme in den Randbereichen des Statorzahns 3 zu erreichen.

Vorzugsweise sind die Schlitze 15 so gewählt, dass sie Nuten 14 bilden, die den Zahnkopf 5 und einen Teil des sich daran anschließenden Statorzahns 3 in Ab-

15 schnitte unterteilen, die im Wesentlichen Flächen gleicher Größe aufweisen. In der gezeigten Ausführungsform beträgt die Anzahl der im Wesentlichen entlang der Wicklungsachse des Statorzahns 3 verlaufenden Nuten 14 zwei, es können jedoch auch andere Anzahlen von Nuten 14 vorgesehen werden. Da sich die Wirbelströme ausschließlich im Bereich des Luftspalts 10 ausbilden, ist es nicht

20 notwendig, die Nuten entlang der gesamten Erstreckung des Statorzahns 3 vorzusehen. Jedoch tritt ein Teil des magnetischen Flusses als magnetischer Randfluss auch aus der Seitenfläche des Zahnschafts aus, so dass neben dem Zahnkopf auch ein Abschnitt des Statorzahns 3, der sich an den Zahnkopf anschließt, mit den Nuten 14 in den Endabschnitten versehen werden sollte.

25 Die Schlitze 15 in den ersten Lamellenblechen 11 der ersten Blechgeometrie werden beispielsweise durch Stanzen oder Schneiden, z. B. Laserschneiden, erzeugt, so dass sich deren Breite aus dem verwendeten Herstellungsprozess ergibt. Letztlich ist die Breite der Nuten 14 senkrecht zu ihrer Erstreckungsrichtung

30 nicht ausschlaggebend für die Reduzierung der Wirbelströme, sondern lediglich das Vorhandensein einer Unterbrechung der Stromleitung des Lamellenblechs, so dass sich Wirbelströme nicht über die Nuten 14 hinweg ausbreiten können. Beim Stanzen ist es sinnvoll, die Breite der Nut 14 zwischen 1 und 2 mm zu wählen, um eine ausreichende Lebensdauer des Stanzwerkzeugs zu gewährleisten.

35 Beim Laserschneiden hingegen können Breiten der Nuten 14 von 0,5 mm erreicht werden.

Vorzugsweise ist der Verlauf der Nuten 14 in dem Zahnschaft des Statorzahns 5 so gewählt, dass die Abstände zwischen ihnen bzw. zwischen ihnen und der nächstgelegenen Kante des ersten Lamellenblechs 11 der ersten Blechgeometrie möglichst gleich sind. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Breiten w_1 bis w_3 der durch die Nuten 14 innerhalb des Statorzahns 3 gebildeten Statorzahnteilabschnitte 16 gleich gewählt sind. Selbstverständlich ist dies nicht notwendig und es können auch Statorzahnteilabschnitte 16 unterschiedlicher Breite verwendet werden.

Der Zahnkopf 5 stellt eine Verbreiterung des Statorzahns 3 dar, so dass sich der Abstand zwischen zwei Nuten 14 innerhalb des Zahnkopfs 5 ebenfalls verbreitert. Die Nuten 14 enden an der Außenkontur des Zahnkopfs 5 und unterteilen so die Außenkontur des Zahnkopfs 5 in Abschnitte, die jeweils – bei rotatorischen elektrischen Maschinen - einen identischen Winkelbereich θ_1 , θ_2 , θ_3 aufweisen. Auch diese Winkel können voneinander verschieden sein.

Die Länge der Nuten 14 entspricht vorzugsweise mindestens der Länge des Zahnkopfs 5 in Erstreckungsrichtung des Statorzahns 3 und geht maximal bis zur Mitte des Statorzahns 3, so dass gilt:

$$0 \leq h_N \leq 0,5 \times h_{\text{Shaft}} + h_{\text{Shoe}}$$

wobei h_{Shaft} der Länge des Zahnschafts und h_{Shoe} der Länge des Zahnkopfes entsprechen.

Es ist weiterhin möglich, für den Endabschnitt mehrere erste Lamellenbleche 11 vorzusehen, die eine leicht zueinander versetzte Geometrie aufweisen. Diese werden so aufeinander gestapelt, dass deren Nuten 14 versetzt zueinander liegen, um so einen Endabschnitt mit mehreren ersten Lamellenblechen 11 zu bilden, deren Nuten 14 zueinander versetzt sind. Eine solche Anordnung kann verwendet werden, wenn die Nuten 14 in dem Endabschnitt im Vergleich zur Dicke des Statorzahns 3 relativ breit sind. Dies kann der Fall sein, wenn die Nuten 14 mit dem Stanzwerkzeug gestanzt werden, das aufgrund von Lebensdauerbeschränkungen nicht dünn genug hergestellt werden kann. Bei dieser Anordnung könnte der magnetische Randfluss, der durch die breiten Nuten 14 des äußers-

ten Lamellenblechs gelangt, in das zweite Lamellenblech 11 des Endabschnitts eindringen und die dort befindlichen Nuten 14 könnten die dadurch entstehenden Wirbelströme wirksam unterdrücken.

5 In Figur 7 ist als eine weitere Ausführungsform eine Variante des ersten Lamellenblechs 11' zum Aufbau der Endabschnitte des Statorzahns 3 dargestellt. Im Unterschied zu dem ersten Lamellenblech 11 der Figur 5 sind bei der Ausführung
10 der Figur 7 die Schlitze 15 nicht bis zur Außenkontur des Zahnkopfs 5 geführt, sondern enden kurz davor, so dass die so gebildeten Nuten 14 den Luftspalt 10 nicht erreichen. Dies erhöht die mechanische Stabilität der Endabschnitte in dem Zahnschuhbereich. Beispielsweise können die Ende der Schlitze 15 bzw. der Nuten 14 etwa einen Abstand von 0,5 % bis 10%, insbesondere 0,5 bis 3% der Länge des Statorzahns 3 von der Außenkontur des Zahnkopfs 5 aufweisen.

15 In Figur 8 ist eine weitere Ausführungsform für eine elektrischen Maschine 20 dargestellt. Die Figur 8 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung, die einen bürstenkommutierten Gleichstrommotor 20 zeigt. Der Gleichstrommotor 20 umfasst einen zylinderförmigen Stator 21 mit Statormagneten 22, die an einer Innenwand des zylinderförmigen Stators 21 angeordnet sind und eine Innenaussparung 23 bilden, in der ein Rotor 24 drehbeweglich um eine Rotorwelle 25
20 angeordnet ist.

Der Rotor 24 trägt mit Rotorspulen 30 bewickelte Rotorzähne 26, die jeweils
25 nach außen am Rotor 24 abstehen und an ihrem äußeren Ende jeweils einen Zahnkopf 27 mit einer entsprechenden Außenkontur aufweisen. Die Rotorspulen 30 werden von einem (nicht gezeigten) Kommutator elektrisch bestromt. Die Außenkontur der Zahnköpfe 27 bildet mit den dem Rotor 24 zugewandten Außenkonturen der Statormagneten 22 einen Luftspalt 28, in dem ein magnetischer Fluss besteht.
30

In Figur 9 ist eine Schnittansicht durch den Gleichstrommotor 20 der Figur 8 entlang der Ebene B - B dargestellt. Man erkennt den Schnitt durch einen der Rotorzähne 26. Man erkennt in dem Luftspalt 28, der zwischen der Außenkontur des Zahnkopfs 27 und des Statormagneten 22 gebildet ist, den Verlauf der magnetischen Feldlinien. In einem Innenbereich des Rotorzahns 26 in axialer Richtung A
35

verlaufen die Magnetfeldlinien im Wesentlichen in radialer Richtung zwischen dem Statormagneten 22 und dem Zahnkopf 27. An Seitenflächen von Endabschnitten des Rotorzahns 26 bezüglich der axialen Erstreckung des Rotorzahns 26 treten Magnetfeldlinien in axialer Richtung aus dem Rotorzahn 26 bzw. aus dem Zahnkopf 27 aus und bilden so ein Randmagnetfeld 29.

Das Randmagnetfeld 29 weist aufgrund der Kommutierung und der Drehbewegung des Rotors 24 eine wechselnde Feldstärke auf, so dass, wie in Figur 10 detaillierter dargestellt, in den Endabschnitten des Rotorzahns 26 Wirbelströme in einer radialen Ebene senkrecht zur axialen Richtung gebildet werden können. Figur 10 zeigt eine Schnittansicht entlang einer radialen Ebene senkrecht zur axialen Richtung. Figur 10 verdeutlicht den Verlauf der Magnetfeldlinien am Endabschnitt und die gestrichelte Linie verdeutlicht eine Wirbelstromschleife eines durch die Magnetfeldlinien im Endabschnitt erzeugten Wirbelstroms.

Wie in Fig. 11 dargestellt, können durch das Vorsehen von Nuten 31 in dem Rotorzahn 26 bzw. in dem Zahnkopf 27 des Rotorzahns 26 die Wirbelströme unterteilt und damit deren Stärke und Wirkung auf die Effizienz der elektrischen Maschine reduziert werden.

Der Aufbau des Rotors 24 für eine derartige elektrische Maschine 20 wird durch eine Stapelung von Lamellenblechen erreicht. Dazu sind erste Lamellenbleche 32 mit einer ersten Blechgeometrie vorgesehen, wie sie in Figur 12 dargestellt sind. Die ersten Lamellenbleche 32 weisen Schlitz 34 auf, die, wie bei dem ersten Lamellenblech 11 der Figur 5, den Zahnkopf 27 durchdringen und in einem Abschnitt des Rotorzahns 26 verlaufen. Vorzugsweise ist die Länge der Schlitz 34 auf die Hälfte des Rotorzahns 26 beschränkt. Die Schlitz 34 verlaufen parallel zur Erstreckungsrichtung des Rotorzahns 26, d. h. parallel zur radialen Richtung der Rotorzähne 26. Im Bereich des Zahnkopfs 27 verlaufen die Schlitz 34 in Richtung der Außenkontur des Rotorzahns 26 voneinander weg, so dass für die Schlitz 34 eine gewinkelte Struktur entsteht.

Wie zuvor beschrieben, wird mit den Nuten 31 bzw. den Schlitz 34 eine gleichmäßige Unterteilung eines Endabschnitts des Rotorzahns 26 einschließlich des Zahnkopfs 27 erreicht, so dass die durch den magnetischen Randfluss bedingten Wirbelströme reduziert werden können.

In Figur 13 ist ein zweites Lamellenblech 33 mit einer zweiten Blechgeometrie dargestellt. Das zweite Lamellenblech 33 dient dazu, durch Stapelung einen Mit-

5 tenabschnitt des Rotors 24 auszubilden, der zwischen den Endbereichen des Rotors 24 vorgesehen ist.

In Figur 14 ist entsprechend der Ausführungsform der Figur 7 eine Form der Nu-

10 ten 31 dargestellt, bei der die Nuten nicht bis zur Außenkontur des Rotors 24 verlaufen. Die Nuten 31 enden kurz vor Erreichen der Außenkontur des Rotors 24, so dass eine erhöhte mechanische Stabilität gewährleistet ist. Insbesondere ein Abbiegen bzw. Abstehen der durch die Nuten 31 unterteilten Bereiche des Rotorzahns 26 und des Zahnkopfs 27 kann dadurch vermieden werden.

5 Ansprüche

1. Wicklungszahn (3) für eine Komponente (2) einer elektrischen Maschine (1), insbesondere für einen Stator und/oder einen Läufer, umfassend:
 - einen Zahnschaft zum Bewickeln mit einer Wicklungsspule (4); und
 - 10 - einen Zahnkopf (5), der an einem Ende des Zahnschafts bezüglich einer Wicklungsachse angeordnet ist;wobei an mindestens einem Endabschnitt des Wicklungszahns (3) eine oder mehrere Nuten (14) vorgesehen sind, die sich entlang der Wicklungsachse durch den Zahnkopf (5) erstrecken, wobei der Endabschnitt einem Bereich
15 an einem oder beiden Enden des Wicklungszahns (3) entlang einer im Wesentlichen senkrecht zur Wicklungsachse verlaufenden Querrichtung entspricht.
2. Wicklungszahn (3) nach Anspruch 1, wobei sich die eine oder die mehreren
20 Nuten (14) entlang der Wicklungsachse durch einen Teil des Zahnschafts erstrecken, wobei die Länge der einen oder der mehreren Nuten (14) gleich oder kleiner ist als die Hälfte der Länge des Zahnschafts.
3. Wicklungszahn (3) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Wicklungszahn (3)
25 durch Stapeln von Blechlamellen in einer Stapelrichtung gebildet ist, wobei die Stapelrichtung der Querrichtung entspricht.
4. Wicklungszahn (3) nach Anspruch 3, wobei der Wicklungszahn (3) mit einer
30 oder mehreren ersten Blechlamellen (11) einer ersten Geometrie und mit einer oder mehreren zweiten Blechlamellen (12) einer zweiten Geometrie gebildet ist, wobei die ersten Blechlamellen (11) einen oder mehrere Schlitze (15) in dem Bereich, der den Zahnkopf und einen Teil des Zahnschafts bildet, aufweisen, so dass durch Stapeln der ersten und zweiten Blechlamellen (11, 12) derart, dass die ersten Blechlamellen (11) in dem einen oder den
35 mehreren Endabschnitten des Wicklungszahns (3) angeordnet sind, die eine oder die mehreren Nuten (14) gebildet werden.

5. Wicklungszahn (3) nach Anspruch 4, wobei der eine oder die mehreren Schlitze (15) der ersten Blechlamellen (11) an einer dem Zahnschaft gegenüber liegenden Außenkontur des Zahnkopfes (5) münden oder kurz vor Erreichen der Außenkontur enden, so dass ein Steg mit einer Breite von 0,5 % bis 5% der Länge des Wicklungszahns (3) gebildet wird.
6. Wicklungszahn (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der eine oder die beiden Endabschnitte einen Anteil der Länge in Querrichtung des Wicklungszahns (3) einnehmen, der zwischen 0,5 % und 10 %, insbesondere zwischen 1 % und 10 %, insbesondere zwischen 1 % und 5 %, liegt.
7. Wicklungszahn (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Zahnkopf (5) an mindestens einer Seite in einer Bewegungsrichtung über den Zahnschaft übersteht, wobei mindestens eine der Nuten (14) gewinkelt ist und wobei sich ein Abschnitt der Nut (14), der in dem Zahnschaft verläuft, parallel zur Wicklungsachse des Wicklungszahns (3) erstreckt und/oder wobei ein Abschnitt der Nut (14), der in dem Zahnkopf (5) verläuft, schräg in Richtung der Bewegungsrichtung von der Wicklungsachse des Wicklungszahns (3) absteht.
8. Wicklungszahn (3) nach Anspruch 7, wobei die Nuten (14) so innerhalb des Wicklungszahns (3) verlaufen, dass ein Bereich des Wicklungszahns (3) im Endabschnitt in mehrere Teile unterteilt ist, wobei die Teile des Wicklungszahns (3) im Endabschnitt einen identischen Flächenbereich definieren.
9. Komponente, insbesondere ein Stator oder ein Läufer für eine elektrische Maschine (1), mit einem oder mehreren Wicklungszähnen (3) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.
10. Elektrische Maschine (1) mit einem Stator und einem Läufer, wobei der Stator und/oder der Läufer als Komponente nach Anspruch 9 ausgebildet ist, wobei die Querrichtung senkrecht zu einer Bewegungsrichtung einer relativen Bewegung zwischen dem Stator und dem Läufer verläuft.

Fig. 1

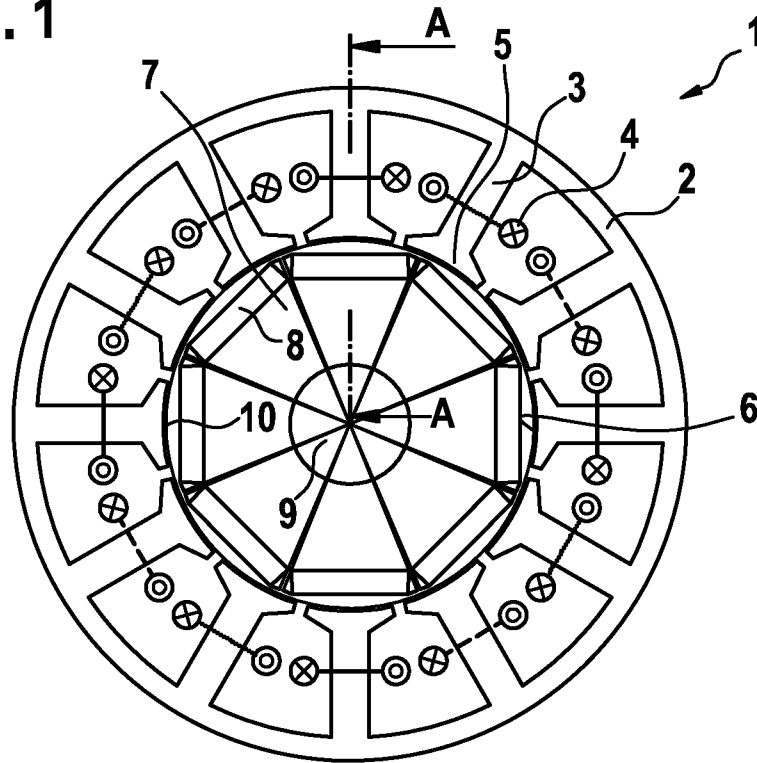


Fig. 2

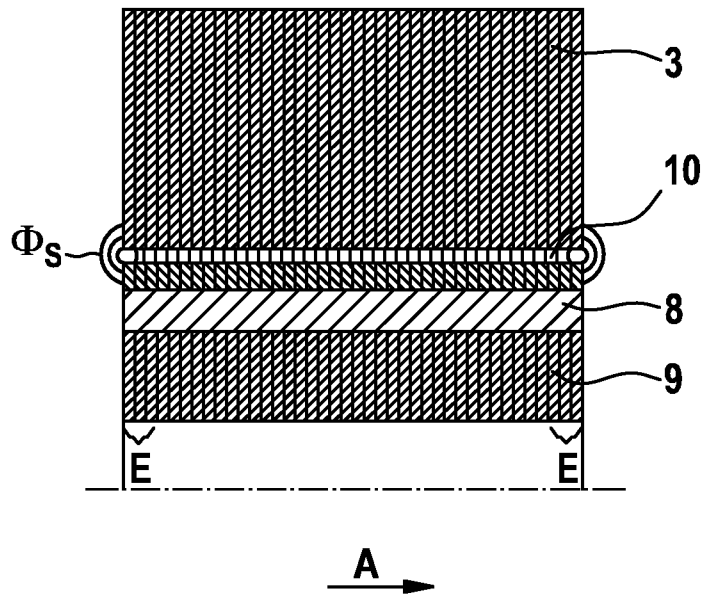


Fig. 3

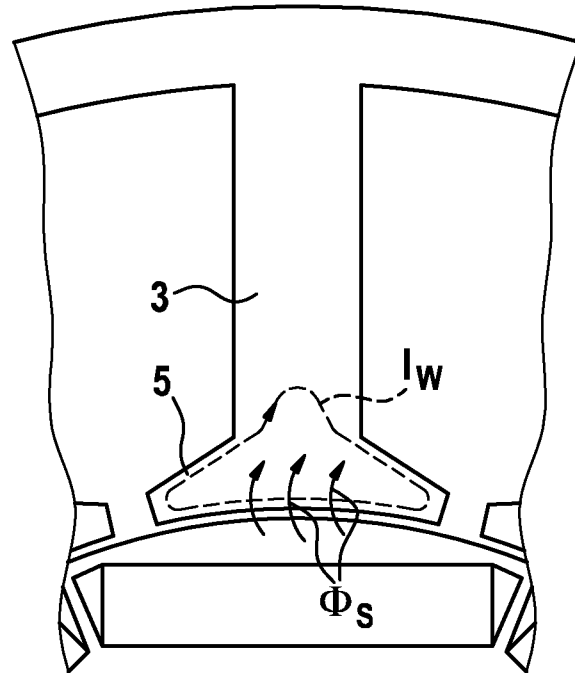


Fig. 4

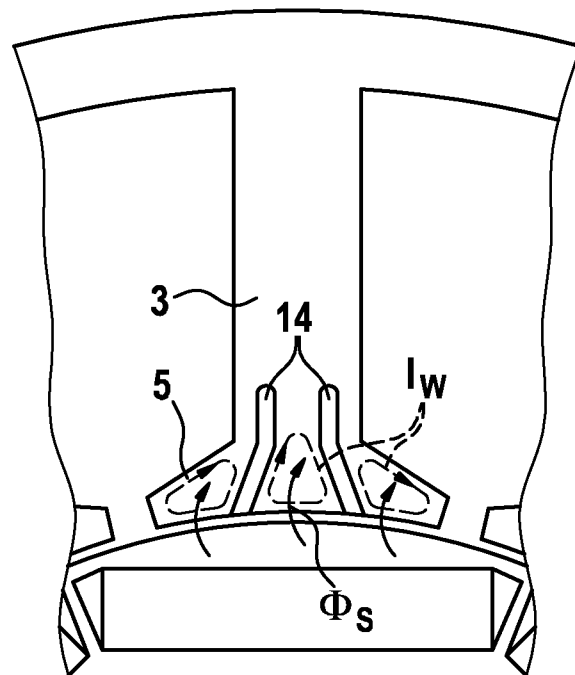


Fig. 5

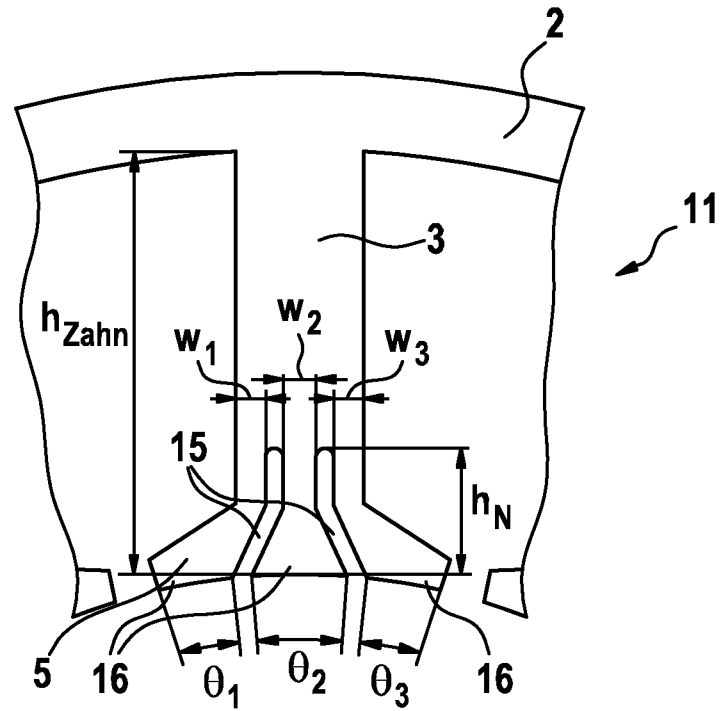


Fig. 6

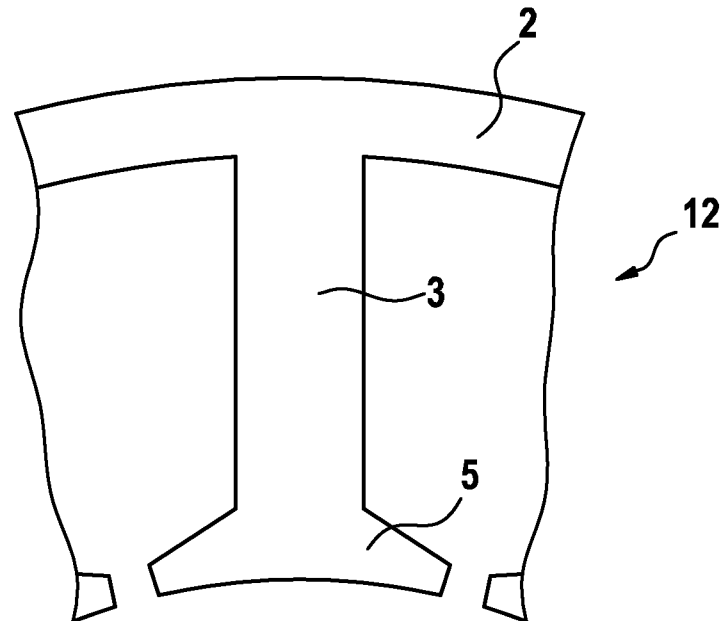


Fig. 7

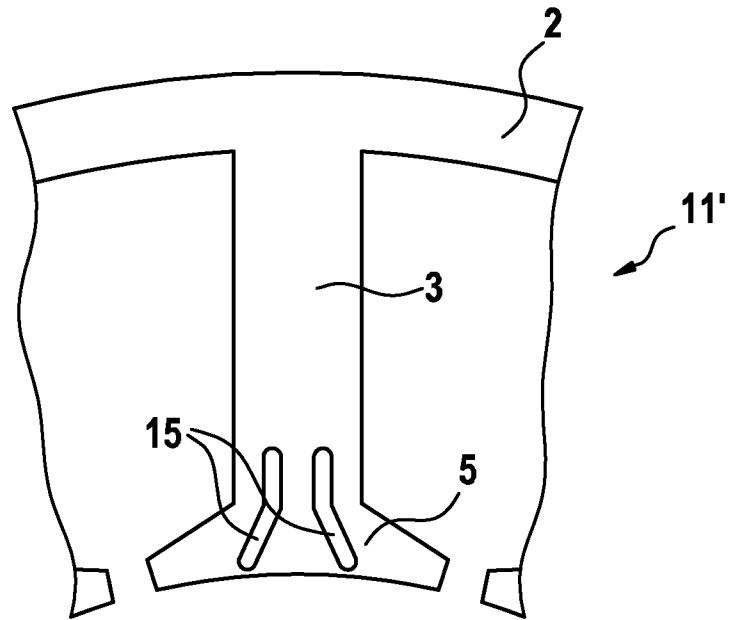


Fig. 8

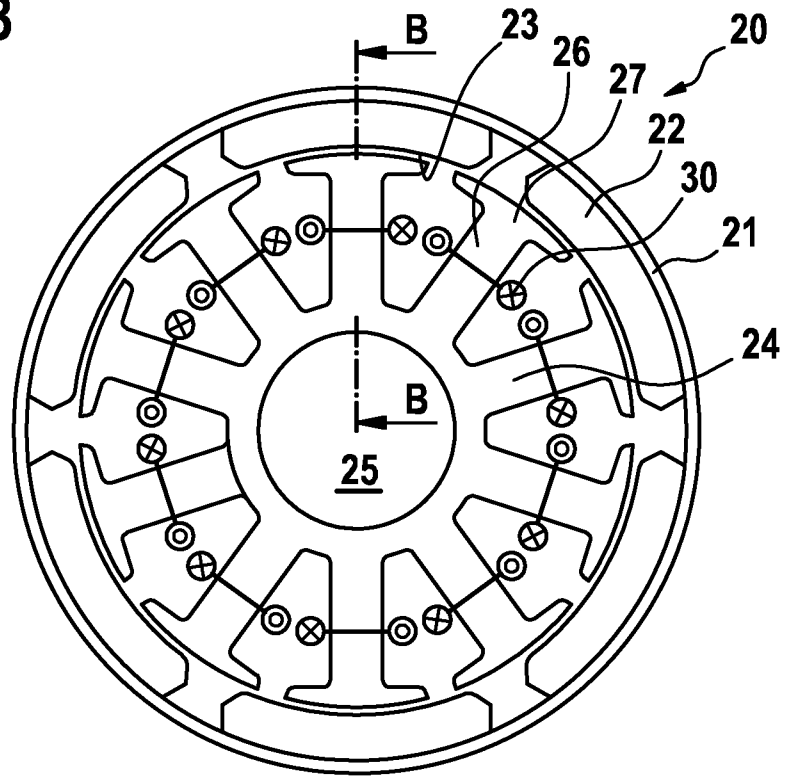
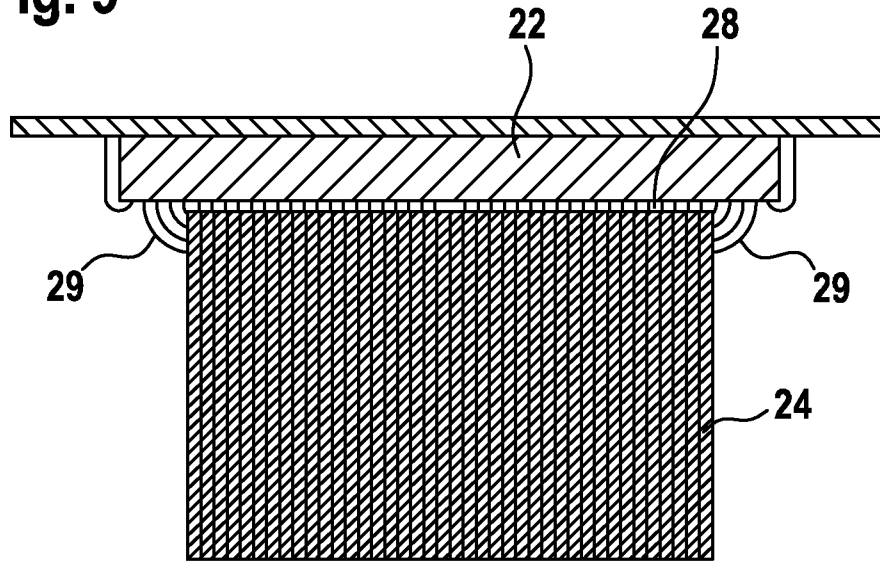


Fig. 9



A →

Fig. 10

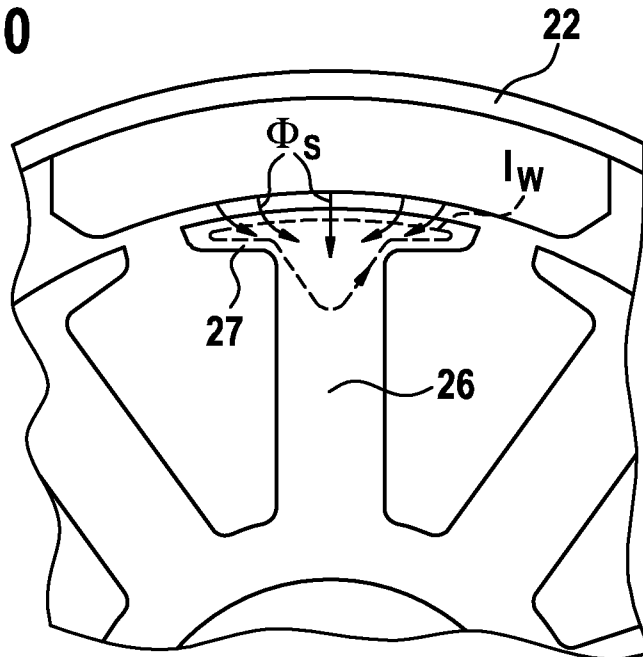


Fig. 11

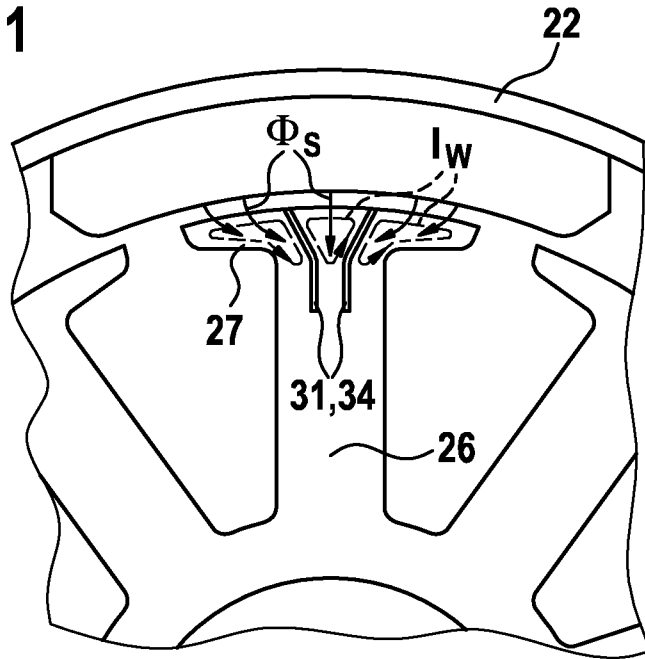


Fig. 12

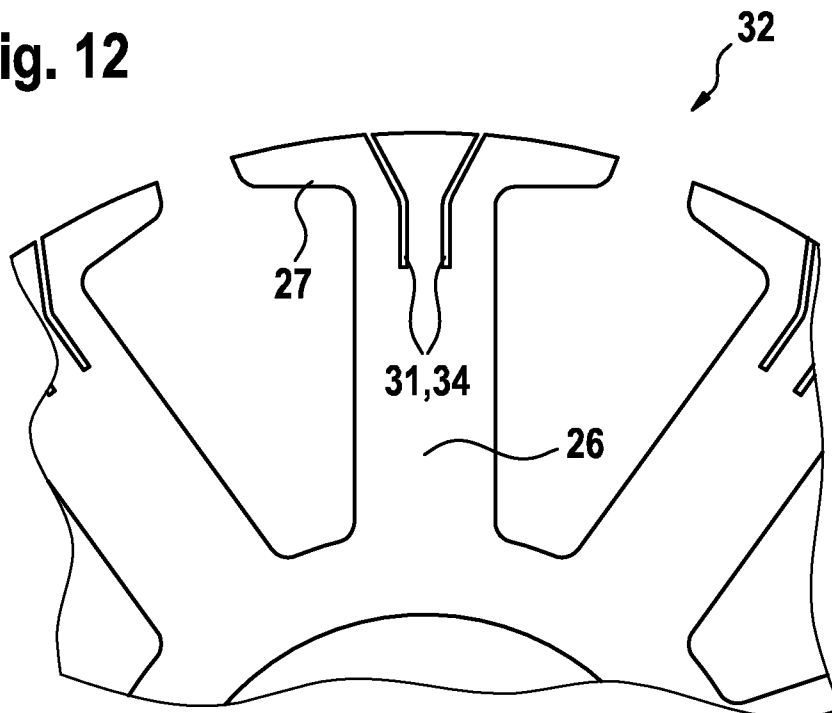


Fig. 13

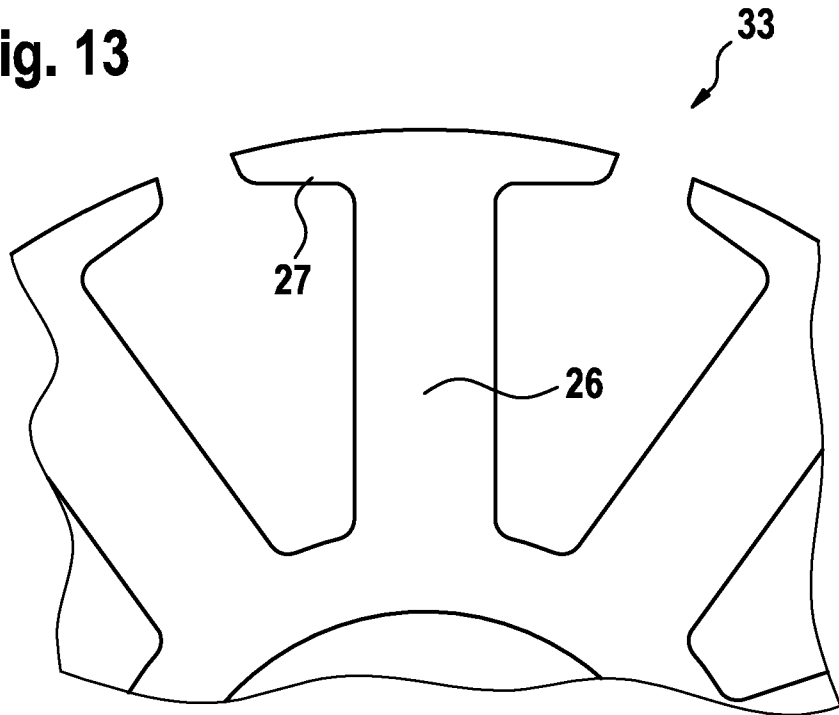


Fig. 14

