

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft permanentmagneterregte elektrische Maschinen, insbesondere eine Läuferanordnung für eine derartige elektrische Maschine.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik sind Läuferanordnungen bekannt, die Polschuhe aufweisen, die ein durch Permanentmagnete erzeugtes Erregermagnetfeld in Richtung eines Luftspalts zu einer Statoranordnung bereitstellen. In einer Variante zur Anordnung der Permanentmagnete in der Läuferanordnung werden die Permanentmagnete mit ihrer Polrichtung parallel zur Bewegungsrichtung des Läufers angeordnet, so dass sich die Polschuhe der Läuferanordnung zwischen den Permanentmagneten befinden. In den Polschuhen wird das von den Permanentmagneten abgegebene Magnetfeld in Richtung des Luftspalts umgelenkt.

[0003] Derartige Typen von Läuferanordnungen werden heutzutage in vielen permanentmagneterregten elektrischen Maschinen verwendet, beispielsweise bei der Lenkunterstützung und in Kühleinrichtungen. Dabei werden im Wesentlichen quaderförmige Permanentmagnete verwendet, die einfach und mit geringem Aufwand herzustellen sind, wobei eine Magnetisierungsanisotropie und eine dazu gleichgerichtete Magnetisierungsrichtung in Richtung der Bewegung des Läufers bzw. in Anordnungsrichtung der Polschuhe ausgerichtet sind.

[0004] In rotatorischen elektrischen Maschinen wird eine derartige Anordnung der Permanentmagnete als Speichenanordnung bezeichnet. Die Polrichtung der Permanentmagnete verläuft in tangentialer Richtung.

[0005] Ein Vorteil von derartigen Läuferanordnungen besteht darin, dass durch eine geeignete Dimensionierung eine Luftspaltflussdichte erreicht werden kann, die größer als die Remanenzflussdichte der eingesetzten Permanentmagnete ist. Da die Luftspaltflussdichte maßgeblich die Drehmomentdichte der elektrischen Maschine bestimmt, können dadurch leistungsfähige elektrische Maschinen mit relativ hohen Drehmomentdichten aufgebaut werden.

[0006] Dies wird dadurch erreicht, dass die Anzahl der Permanentmagnete in dem Rotor so gewählt ist, dass deren radiale Länge größer ist als die tangentielle Breite der Polschuhe zwischen den Permanentmagneten. Diese Anordnung konzentriert den magnetischen Fluss in den Luftspalt, um eine Luftspaltflussdichte zu erzeugen, die höher ist als die Remanenzflussdichte der Permanentmagnete.

[0007] Die obigen Läuferanordnungen werden oftmals in Kombination mit Permanentmagneten aus einfachem, kostengünstigem Magnetmaterial aufgebaut, insbesondere Magnetmaterial ohne Seltene-Erden-Verbindungen und mit relativ geringer Remanenzflussdichte, wie beispielsweise Permanentmagnete aus gesinterten Ferritmaterialien der sechsten Generation.

[0008] Permanentmagnete aus gesinterten Ferritmaterialien weisen darüber hinaus eine relativ geringe Koerzitivfeldstärke auf, so dass bei einem gegenläufigen Magnetfeld ausreichend hoher Feldstärke die Gefahr einer Entmagnetisierung besteht. Um diese relativ geringe Koerzitivität zu kompensieren, sind die Permanentmagnete in der Richtung ihrer Materialanisotropie und ihrer Magnetisierung relativ dick ausgeführt, um sie widerstandsfähiger gegen eine Entmagnetisierung durch das Statorfeld der elektrischen Maschine zu machen.

[0009] Weiterhin sind bei der oben beschriebenen Läuferanordnung zwei Luftspalte in dem Flusspfad eines Permanentmagneten vorgesehen. Um dennoch eine hohe Luftspaltflussdichte sowie eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen eine Entmagnetisierung zu erreichen, werden daher die derart angeordneten Permanentmagnete häufig erheblich dicker (in Polungsrichtung) ausgebildet als Permanentmagnete aus Ferritmaterial mit ihrer Polrichtung parallel zum Luftspaltmagnetfeld, die konstruktionsbedingt nur einen Luftspalt in ihrem jeweiligen Flusspfad aufweisen.

[0010] Insbesondere bei rotatorischen elektrischen Maschinen mit einem bestimmten Rotordurchmesser und einer vorgegebenen Polzahl führt bei einer Speichenanordnung jede Erhöhung der Dicke der Permanentmagnete in tangentialer Richtung (Polungsrichtung) aufgrund des begrenzten Bauraums zu einer Verringerung ihrer maximal möglichen radialen Länge, da sich die Abstände zwischen den Permanentmagneten in Richtung zur Drehachse verringern. Diese Beschränkung der radialen Länge der Permanentmagnete begrenzt den durch die Permanentmagnete bereitstellbaren magnetischen Fluss und verringert dadurch die Luftspaltflussdichte und die Drehmomentdichte der elektrischen Maschine.

[0011] Darüber hinaus führt jegliche Erhöhung der Dicke der Permanentmagnete zu einer Verringerung der Winkelabdeckung der einzelnen Polschuhe an dem Luftspalt der elektrischen Maschine und kann ebenfalls dazu führen, dass dieser Winkel kleiner ist als sein Optimum.

[0012] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Läuferanordnung für eine elektrische Maschine bereitzustellen, bei der trotz der Verwendung von blockförmigen kostengünstigen Permanentma-

gneten eine hohe Flussdichte im Luftspalt erreicht werden kann.

Offenbarung der Erfindung

[0013] Diese Aufgabe wird durch die Läuferanordnung für eine elektrische Maschine gemäß Anspruch 1 sowie durch die elektrische Maschine gemäß dem nebengeordneten Anspruch gelöst.

[0014] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0015] Gemäß einem ersten Aspekt ist eine Läuferanordnung für eine rotatorische elektrische Maschine vorgesehen, umfassend:

- mehrere Polschuhe, die jeweils durch einen Steg an einem Rückschlussbereich gehalten sind; und
- blockförmige Permanentmagnete, die zwischen jeweils zwei Polschuhen angeordnet sind und sich zwischen dem Rückschlussbereich in radialer Richtung zu einer Außenfläche der Läuferanordnung erstrecken, wobei die Magnetisierungsrichtungen der Permanentmagnete in Anordnungsrichtung der Polschuhe ausgerichtet sind;

[0016] wobei mindestens einer der Permanentmagnete mehrere Abschnitte aufweist, wobei ein näher am Rückschlussbereich angeordneter zweiter Abschnitt eine geringere tangentielle Dicke aufweist als ein weiter vom Rückschlussbereich entfernter erster Abschnitt des Permanentmagneten

[0017] Eine Idee der obigen Läuferanordnung besteht darin, die Permanentmagnete mit mehreren Abschnitten oder mehrteilig mit verschiedenen tangentialen Dicken vorzusehen, wobei der einer Drehachse zugewandte Abschnitt eine geringere tangentielle Dicke aufweist als ein drehachsenferner Abschnitt.

[0018] Auf diese Weise ist es möglich, die radiale Länge, über die sich der Permanentmagnet innerhalb der Läuferanordnung erstreckt, zu vergrößern und den Permanentmagneten insbesondere über die gesamte radiale Länge zwischen dem Rückschlussbereich und dem Luftspalt vorzusehen. Dadurch kann in den Polschuhen eine größtmögliche Flussdichte erreicht werden und gleichzeitig kann die Widerstandsfähigkeit des luftspaltnahen (drehachsenfernen) Abschnitts des Permanentmagneten durch dessen größere tangentielle Breite erhöht werden.

[0019] Weiterhin kann der Permanentmagnet mit einer Seitenfläche an dem Rückschlussbereich anliegen.

[0020] Darüber hinaus kann der Permanentmagnet mit einer Seitenfläche an einem Polspalt zwischen zwei Polschuhen enden.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform kann die tangentielle Dicke des ersten Abschnitts des Permanentmagneten um einen Faktor von mehr als 1,5 größer sein als die tangentielle Dicke des zweiten Abschnitts des Permanentmagneten.

[0022] Weiterhin kann das Breitenverhältnis zwischen der radialen Breite des zweiten Abschnitts des Permanentmagneten zur gesamten radialen Breite des Permanentmagneten zwischen 0,25 und 0,75 liegen.

[0023] Es kann vorgesehen sein, dass die Permanentmagnete mehrteilig vorgesehen sind, um die Abschnitte zu bilden.

[0024] Jeder Permanentmagnet der Läuferanordnung kann die gleiche Form aufweisen, wobei die tangentielle Dicke des zweiten Abschnitts so gewählt ist, dass zwischen den benachbarten zweiten Abschnitten ein Steg verbleibt, der einen Querschnitt aufweist, so dass das Magnetfeld in dem Steg durch die Magnetisierung des zweiten Abschnitts des Permanentmagneten in der magnetischen Sättigung ist.

[0025] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine elektrische Maschine mit einer Statoranordnung zum Bereitstellen eines Stator magnetfelds und der obigen Läuferanordnung vorgesehen.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0026] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0027] Fig. 1 eine schematische Querschnittsdarstellung durch eine elektrische Maschine;

[0028] Fig. 2 eine vergrößerte Darstellung eines Ausschnitts durch zwei Polschuhe der Läuferanordnung der elektrischen Maschine der Fig. 1 mit dargestellten magnetischen Feldlinien; und

[0029] Fig. 3 eine weitere Ausführungsform einer Läuferanordnung der elektrischen Maschine in einer der Fig. 2 entsprechenden Darstellung mit einem unterschiedlichen Breitenverhältnis der Abschnitte des Permanentmagneten.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0030] Fig. 1 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung einer herkömmlichen rotatorischen, permanentmagneterregten elektrischen Maschine 1 mit

einem Innenläufer. Die elektrische Maschine **1** weist einen zylinderförmigen Stator **2** auf.

[0031] Der Stator **2** umfasst einen zylinderförmigen magnetischen Statorrückschlussbereich **21**, von dem äquidistant in Umfangsrichtung angeordnete Statorzähne **22** radial nach innen gerichtet abstehen und mit ihren nach innen gerichteten Enden eine ebenfalls zylinderförmige Innenausnehmung **3** definieren. Die Statorzähne **22** sind an ihren radial inneren Enden mit Zahnköpfen **23** versehen, die eine kreisbogenförmige, konkave Außenkontur aufweisen. Die Statorzähne **22** sind mit (nicht gezeigten) Statorspulen versehen, durch die bei Bestromung ein Statormagnetfeld erzeugt werden kann.

[0032] In der Innenausnehmung **3** ist als Läuferanordnung ein ebenfalls zylinderförmiger Rotor **4** (Läufer der elektrischen Maschine **1**) drehbeweglich an einer Welle **5** angeordnet. Der Rotor **4** weist einen Rotorkörper **41** auf, der mit Polschuhen **42** zusammengesetzt ist, die über (in tangentialer Richtung) schmale Stege **43** mit einer Welle **5** umgebenden Rückschlussbereich **44** verbunden sind.

[0033] Die Stege **43** sind vorzugsweise so dimensioniert, dass sie eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen, um die sich nach außen verbreiternden Polschuhe **42** gegen radial wirkende Zentrifugalkräfte sowie bei Beschleunigung oder Abbremsen des Motors in tangentialer Richtung wirkende Querkräfte zu halten. Des Weiteren sind die Stege **43** so dimensioniert, dass sie einen Querschnitt aufweisen, der ausreichend klein ist, um den durch die Permanentmagnete **7** bewirkten magnetischen Fluss durch den Rückschlussbereich **44** möglichst gering zu halten. Insbesondere ist es erforderlich, dass der Teil des magnetischen Flusses der Permanentmagnete **7**, der durch die Stege **43** fließt, ausreicht, um die magnetische Flussdichte in den Stegen **43** in einer Sättigung zu halten.

[0034] Zwischen den Polschuhen **42** sind Taschen **6** angeordnet, in denen Permanentmagnete **7** aufgenommen sind. Um die Taschen **6** in radialer Richtung nach außen zu begrenzen, weisen die Polschuhe **42** Überstände **45** auf, die die in den Taschen **6** angeordneten Permanentmagnete **7** in tangentialer Richtung übergreifen und diese zuverlässig, auch gegen die bei Drehung des Rotors **4** wirkenden Zentrifugalkräfte, in den Taschen **6** zu halten. Die Taschen **6** weisen vorzugsweise eine Breite in tangentialer Richtung auf, um entsprechende Permanentmagnete **7** aufzunehmen, so dass diese mit ihren Polflächen an Seitenflächen der Polschuhe **42** anliegen. Die einander gegenüberliegenden Enden der Überstände **45** weisen einen Abstand auf, in dem eine entsprechende Seitenfläche des Permanentmagneten **7** freiliegt, so dass ein Polspalt zwischen den Polschuhen ausgebildet wird.

[0035] Eine derartige elektrische Maschine **1** wird beispielsweise elektromotorisch betrieben, indem die Statorspulen so bestromt werden, dass ein umlaufendes Statormagnetfeld erzeugt wird, das mit dem von den Permanentmagneten **7** über die Polschuhe **42** bewirkten Erregermagnetfeld wechselwirkt und dadurch ein Drehmoment auf den Rotor **4** ausübt.

[0036] Die Permanentmagnete **7** werden üblicherweise durch Pressen von Ferritpulvermaterial hergestellt und anschließend gesintert, wobei dem Ferritmaterial während dem Pressen durch Beaufschlagen mit einem Magnetfeld eine Magnetisierungsanisotropie verliehen wird und anschließend eine Magnetisierung des gesinterten Materials in der Richtung der Anisotropie erfolgt. Die Permanentmagnete **7** werden aus Gründen der einfacheren Herstellung blockförmig, vorzugsweise quaderförmig, vorgesehen, mit ihrer Polrichtung in tangentialer Richtung, d. h. senkrecht zu den Grenzflächen zwischen den Polschuhen **42** und den Taschen **6**.

[0037] Die Taschen **6** des Rotors **4** sind zur Aufnahme eines Permanentmagneten **7** mit zwei Abschnitten **61**, **62** ausgebildet, um den Permanentmagneten **7** mit einem entsprechenden ersten Abschnitt **71** und einem entsprechenden zweiten Abschnitt **72** aufzunehmen. Ein erster Abschnitt **71** des Permanentmagneten **7** ist an einer radial äußeren Position der Läuferanordnung **4** nahe dem Luftspalt zwischen dem Rotor **4** und der Statoranordnung **2** angeordnet. Ein zweiter Abschnitt **72** des Permanentmagneten **7** ist dagegen luftspaltfern nahe dem Rückschlussbereich **44** um die Welle **5** angeordnet. In einer Ausführungsform kann der zweite Abschnitt **72** des Permanentmagneten **7** mit einer Seitenfläche, die keine Polfläche ist, unmittelbar an den Rückschlussbereich **44** angrenzen.

[0038] Die Abschnitte **71**, **72** des Permanentmagneten **7** sind vorzugsweise quaderförmig ausgebildet, so dass diese in besonders einfacher Weise herstellbar sind. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Abschnitte **71**, **72** des Permanentmagneten **7** separat gebildet werden und zusammengesetzt den mehrteiligen Permanentmagneten **7** bilden. Dabei werden diese mit in tangentialer Richtung gleicher Polrichtung in die Taschen **6** eingesetzt.

[0039] Die tangentielle Dicke d_0 des ersten Abschnitts **71** des Permanentmagneten **7** ist größer als die tangentielle Dicke d_1 des zweiten Abschnitts **72** des Permanentmagneten **7**. Die Abschnitte **71**, **72** des Permanentmagneten **7** liegen mit einer vorzugsweise quer zur radialen Richtung verlaufenden Seitenfläche, die nicht einer Polfläche entspricht, aneinander an, so dass im Querschnitt quer zur axialen Richtung der Läuferanordnung **4** eine stufige Form des Permanentmagneten **7** ausgebildet wird.

[0040] In Fig. 2 ist ein vergrößerter Ausschnitt der Läuferanordnung 4 der elektrischen Maschine 1 mit dem Verlauf des magnetischen Flusses durch die Polschuhe 42 und durch die Permanentmagnete 71, 72 anhand von Magnetfeldlinien näher dargestellt. Man erkennt, dass die Feldlinien im luftspaltnahen Bereich innerhalb des ersten Abschnitts 71 des Permanentmagneten 7 eine ausreichende Flussdichte anzeigen, so dass keine Gefahr einer Entmagnetisierung in diesem Bereich auftritt. Dies wird durch eine ausreichende Dicke des ersten Abschnitts 71 in tangentialer Richtung erreicht. Gleichzeitig ist die radiale Länge des Permanentmagneten 7 maximal, da sich dieser von dem Rückschlussbereich 44 bis hin zum Polspalt erstreckt.

[0041] In der gezeigten Ausführungsform weist der erste Abschnitt 71 des Permanentmagneten 7 eine radiale Breite w_o und der zweite Abschnitt 72 des Permanentmagneten 7 eine radiale Breite w_i auf, die etwa gleich sind. Es ergibt sich ein Breitenverhältnis $w_o/(w_o + w_i)$ von etwa 0,5. Weiterhin weist in der gezeigten Ausführungsform der erste Abschnitt 71 des Permanentmagneten 7 eine tangentiale Dicke d_o und der zweite Abschnitt 72 des Permanentmagneten 7 eine tangentiale Dicke d_i auf, wobei die Dicke d_o deutlich größer ist als die Dicke d_i . Gezeigt ist ein Dickenverhältnis d_o/d_i von etwa 1,5. Vorzugsweise ist das Dickenverhältnis größer als 1,25, insbesondere größer als 1,5 gewählt. Weiterhin sollte das Dickenverhältnis 2 nicht überschreiten. Insbesondere liegen bevorzugte Breitenverhältnisse $w_o/(w_o + w_i)$ zwischen 0,25 und 0,75, insbesondere bei Breitenverhältnissen d_o/d_i von 1,5 oder mehr.

[0042] In Fig. 3 ist eine Darstellung eines Ausschnitts durch eine Läuferanordnung gemäß einer weiteren Ausführungsform gezeigt, bei der der erste Abschnitt 71 des Permanentmagneten 7 eine von der Ausführungsform der Fig. 2 abweichende radiale Breite w_o aufweist. Im Gegensatz zur Ausführungsform der Fig. 2, bei der das radiale Breitenverhältnis $w_o/(w_o + w_i)$ 0,5 beträgt, beträgt dieses bei der Ausführungsform der Fig. 3 0,33, d. h. der zweite Abschnitt des Permanentmagneten 7 weist eine deutlich (zweifach) größere radiale Breite auf als der erste Abschnitt 71.

[0043] Gleiches Magnetmaterial und gleiche Magnetisierung des Permanentmagneten vorausgesetzt, ist bei einem Dickenverhältnis von 1,5 oder mehr ein Breitenverhältnis von 0,33 bereits ausreichend, um den erforderlichen Schutz gegen eine Entmagnetisierung zu erreichen.

[0044] Durch Vorsehen von mehreren Abschnitten 71, 72 des Permanentmagneten 7 mit verschiedenen tangentialen Dicken ist es darüber hinaus möglich, eine Erhöhung der Grundwelle des Luftspaltfelds einer mit einer solchen Läuferanordnung aufgebauten

elektrischen Maschine im Vergleich zum Stand der Technik zu erreichen.

Patentansprüche

1. Läuferanordnung (4) für eine rotatorische elektrische Maschine (1), umfassend:
 - mehrere Polschuhe (42), die jeweils durch einen Steg (43) an einem Rückschlussbereich (44) gehalten sind; und
 - blockförmige oder quaderförmige Permanentmagnete (7), die zwischen jeweils zwei Polschuhen (42) angeordnet sind und sich zwischen dem Rückschlussbereich (44) in radialer Richtung zu einer Außenfläche der Läuferanordnung (4) erstrecken, wobei die Magnetisierungsrichtungen der Permanentmagnete (7) in Anordnungsrichtung der Polschuhe (42) ausgerichtet sind;**dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der Permanentmagnete (7) mehrere Abschnitte (71, 72) aufweist, wobei ein näher am Rückschlussbereich (44) angeordneter zweiter Abschnitt (72) eine geringere tangentiale Dicke aufweist als ein weiter vom Rückschlussbereich (44) entfernter erster Abschnitt (71) des Permanentmagneten (7).
2. Läuferanordnung (4) nach Anspruch 1, wobei der Permanentmagnet (7) mit einer Seitenfläche an dem Rückschlussbereich (44) anliegt.
3. Läuferanordnung (4) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Permanentmagnet (7) mit einer Seitenfläche an einem Polspalt zwischen zwei Polschuhen (42) endet.
4. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die tangentiale Dicke d_o des ersten Abschnitts (71) des Permanentmagneten (7) um einen Faktor von mehr als 1,5 größer ist als die tangentiale Dicke d_i des zweiten Abschnitts des Permanentmagneten (7).
5. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Breitenverhältnis zwischen der radialen Breite des zweiten Abschnitts (72) des Permanentmagneten (7) zur gesamten radialen Breite des Permanentmagneten (7) zwischen 0,25 und 0,75 liegt.
6. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Permanentmagnete (7) mehrteilig vorgesehen sind, um die Abschnitte (71, 72) zu bilden, wobei die Abschnitte (71, 72) als separate Permanentmagnete – insbesondere mit unterschiedlichen Materialeigenschaften – gefertigt sind.
7. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei jeder Permanentmagnet (7) der Läuferanordnung (4) eine gleiche Form aufweist, wobei die tangentiale Dicke des zweiten Abschnitts (72) so

gewählt ist, dass zwischen den benachbarten zweiten Abschnitten (72) ein Steg (43) verbleibt, der einen Querschnitt aufweist, so dass das Magnetfeld in dem Steg (43) durch die Magnetisierung des zweiten Abschnitts (72) des Permanentmagneten (7) in der magnetischen Sättigung ist.

8. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Abschnitte (71, 72) der Permanentmagnete (7) als gesinterte Ferritmagnete – insbesondere mit gleichen Materialeigenschaften – gefertigt sind.

9. Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der gesamte Permanentmagnet (7) in Radialrichtung länger ausgebildet ist als in Tangentialrichtung, und die Permanentmagnete (7) insbesondere speichenförmig im Rotor angeordnet sind, vorzugsweise in radial nach außen offenen Taschen.

10. Elektrische Maschine (1) mit einer Statoranordnung (2) zum Bereitstellen eines Statormagnetfelds und einer Läuferanordnung (4) nach einem der Ansprüche 1 bis 9.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

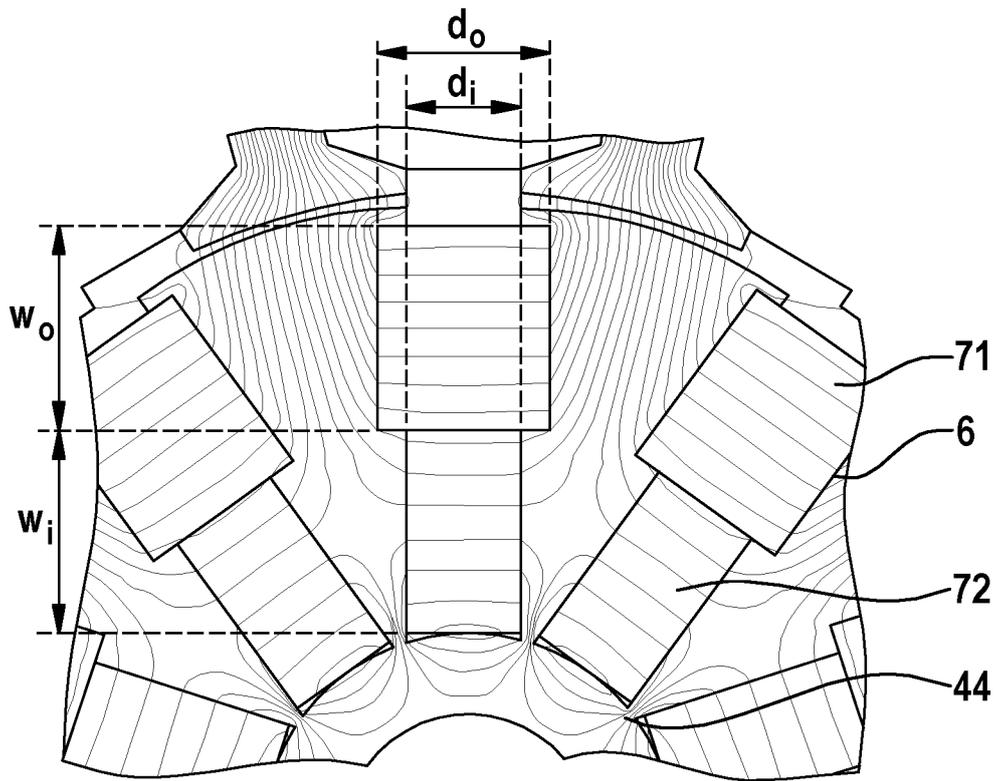


Fig. 2

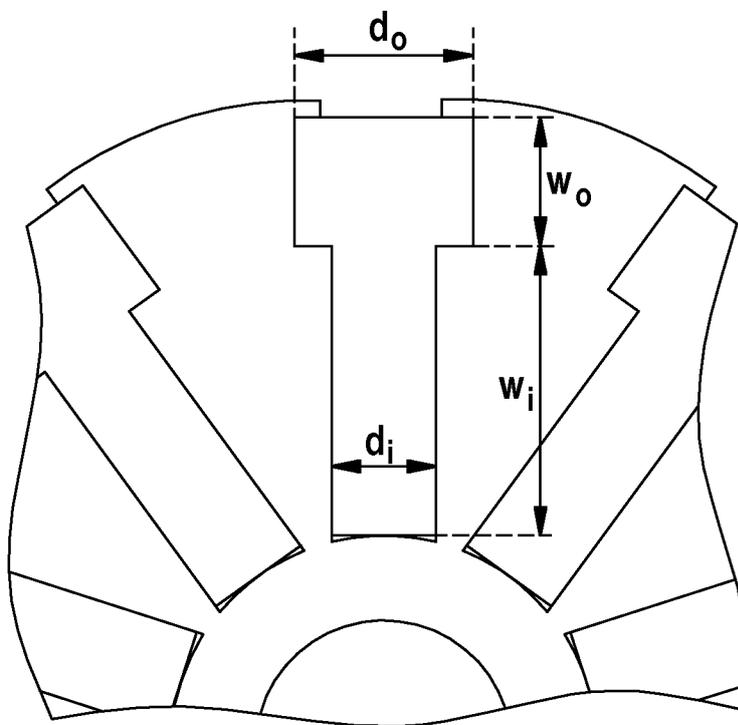


Fig. 3