

(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  
2. Februar 2012 (02.02.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/013783 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
H01K 1/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/063108

(22) Internationales Anmeldedatum:  
29. Juli 2011 (29.07.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102010032764.6 29. Juli 2010 (29.07.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FEAAM GMBH [DE/DE]; Werner-Heisenberg-Weg 39, 85579 Neubiberg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DAJAKU, Gurakuq [RS/DE]; Lilienthalstrasse 16, 85579 Neubiberg (DE).

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENT-ANWALTSGESELLSCHAFT MBH; Ridlerstrasse 55, 80339 München (DE).

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

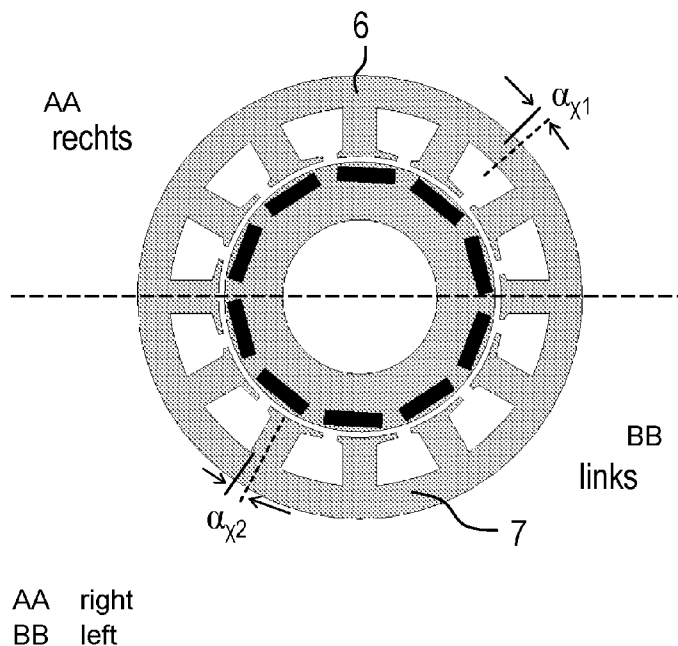
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, 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).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRIC MACHINE AND STATOR FOR SAME

(54) Bezeichnung : ELEKTRISCHE MASCHINE UND STATOR FÜR DIESELBE

FIG 5



(57) Abstract: The invention relates to a stator for an electric machine, comprising at least two sub-stators having respective grooves for receiving windings. The groove openings of the two sub-stators are displaced in relation to each other in the circumferential direction. The invention further relates to an electric machine comprising the stator. The two sub-stators are combined with each other axially and/or in the circumferential direction.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/013783 A2

**Veröffentlicht:**

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

---

Es ist ein Stator für eine elektrische Maschine angegeben, der zumindest zwei Teil-Statoren umfasst, welche jeweils Nuten zur Aufnahme von Wicklungen aufweisen. Die Nutöffnungen der beiden Teil-Statoren sind zueinander in Umfangsrichtung verschoben. Weiterhin ist eine elektrische Maschine mit dem Stator angegeben. Die beiden Teil-Statoren sind miteinander axial und/oder in Umfangsrichtung kombiniert.

## Beschreibung

Elektrische Maschine und Stator für dieselbe

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Stator für eine elektrische Maschine sowie eine elektrische Maschine mit einem Stator und einem Rotor.

Elektrische Maschinen umfassen einen ortsfesten Stator und  
10 einen relativ dazu beweglichen Rotor. Der Stator enthält Nuten, in die elektrische Wicklungen eingelegt werden können. Häufig weisen derartige elektrische Maschinen einen oder mehrere Permanentmagnete mit je einem Nord- und Südpol auf. Hierdurch wird ein Rastmoment der Maschine erzeugt, welches  
15 von der Geometrie der Maschine abhängig ist. Das Rastmoment führt zu unerwünschten Geräuschen und mechanischen Vibrationen. Darüber hinaus werden die Energieausnutzung und der Wirkungsgrad der Maschine vermindert.

- 20 Zudem verursacht das Rastmoment beziehungsweise die damit verbundene Drehmomentwelligkeit Schwankungen in der Drehzahl und Probleme bei der Steuerung.

Letztlich rührt das Rastmoment von der Wechselwirkung, nämlich  
25 lich der magnetischen Anziehung zwischen dem Magnetfluss der Magnete und der Statorgeometrie her, die zu einer veränderlichen Reluktanz mit Winkelabhängigkeit des Rotors führen. Die Drehmomentwelligkeit ist das Ergebnis der Wechselwirkung von höheren Harmonischen der Flussdichte im Luftspalt, die durch  
30 die Rotormagnete und Statorströme verursacht werden. Bei Schenkelpolrotortopologien treten zusätzliche Komponenten der Drehmomentwelligkeit als Ergebnis einer Wechselwirkung zwi-

schen dem Magnetfluss von Statorströmen und höheren Harmonischen des magnetischen Leitwerts des Rotors auf.

In industriellen Anwendungen besteht Bedarf nach modernen Motoren mit geringer Drehmomentwelligkeit und geringem Rastmoment. Die Drehmomentwelligkeit und das Rastmoment sollten beispielsweise geringer als 5 % beziehungsweise 0,5 % des Nenndrehmoments sein.

10 In dem Aufsatz "Cogging Torque Reduction in a Permanent Magnet Wind Turbine Generator", E. Muljadi and J. Green, 21. American Society of Mechanical Engineers, Wind Energy Symposium, Reno, Nevada, January 14 to 17, 2002, NREL/CP-500-30768 wird vorgeschlagen, das Rastmoment bei einer Windturbine zu  
15 reduzieren. Hierfür wird ein gleichförmiger Luftspalt, eine Beeinflussung der Polbreite und eine Schrägstellung des Rotors betrachtet.

Nachteilhaft bei diesen Ansätzen sind jedoch die Verringerung des Wirkungsgrads und/oder die Erhöhung der Herstellungskosten.  
20

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine elektrische Maschine und einen Rotor für eine elektrische Maschine anzugeben, bei denen ein verringertes Rastmoment und eine geringere Drehmomentwelligkeit bei gutem Wirkungsgrad und geringem Herstellungsaufwand möglich sind.  
25

Die Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.  
30

In einer Ausführung umfasst ein Stator für eine elektrische Maschine zumindest zwei Teil-Statoren. Gemeinsam bilden die Teil-Statoren den Stator für die elektrische Maschine. Jeder Teil-Stator umfasst Nuten zur Aufnahme von Wicklungen. Die  
5 Nuten haben Nutöffnungen. Die Nutöffnungen der Nuten des mindestens einen zweiten Teil-Statoren sind in Umfangsrichtung verschoben in Bezug auf die Position der Nutöffnungen der Nuten des ersten Teil-Statoren. Die beiden Teil-Statoren sind miteinander axial und/oder in Umfangsrichtung kombiniert.

10

Die Nutöffnungen sind bevorzugt zum Luftspalt der elektrischen Maschine hin ausgerichtet.

Beispielsweise ist eine Symmetrieachse der Nutöffnungen der  
15 Nuten des ersten Teil-Statoren um einen ersten Winkel in eine Richtung bezüglich der Symmetrieachse der Nuten verschoben, während eine entgegengesetzte Verschiebung der Symmetrieachsen der Nutöffnungen des mindestens einen zweiten Teil-Statoren in Bezug auf dessen Symmetrieachsen der Nuten in ent-  
20 gegengesetzte Richtung um den gleichen oder einen anderen Winkel vorgesehen ist.

Eine Verschiebung der Nutöffnungen führt zu einer entsprechenden Verschiebung der Drehmomentkurve des Rastmoments um  
25 einen bestimmten Winkel. Die Aufteilung des Stators in mehrere Teil-Statoren ermöglicht eine Konfiguration, in der sich die Rastmomentkurven des Drehmoments mit Teil-Statoren unterschiedlicher Position der Nutöffnungen gerade gegenseitig auslöschen. Mit anderen Worten ist durch geeignete relative  
30 Verschiebung der Nutöffnungen der Teil-Statoren ein verschwindendes Rastmoment des Gesamtstators für eine elektrische Maschine erzielt. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Rastmomentkurven der Teil-Statoren zueinander um

180° verschoben sind und sich so die Kurven gegenseitig vollständig auslöschen.

Im Gegensatz zu einem geschrägten Rotor ist das vorgeschlagene Prinzip mit wenigstens zwei Teil-Statoren, in die der Stator entweder in axialer oder in Umfangsrichtung aufgeteilt wird, sowie eine Verschiebung der Nutöffnungen, mit verhältnismäßig geringem Aufwand auch in einer Serienfertigung herstellbar. Demnach ergibt sich eine kostengünstige Realisierung. Der Wirkungsgrad der Maschine sowie andere Leistungsparameter bleiben dabei im Wesentlichen unverändert.

In einer Weiterbildung sind die Nutöffnungen der Nuten des mindestens einen zweiten Teil-Statoren in Bezug auf die Nutöffnungen der Nuten des ersten Teil-Statoren in axialer Richtung oder in Umfangsrichtung derart verschoben, dass das Rastmoment der Teil-Statoren gegenseitig kompensiert und/oder die Drehmomentwelligkeit reduziert ist.

Die Teil-Statoren, in die der Stator der elektrischen Maschine aufgeteilt ist, haben in einer Weiterbildung abgesehen von der Verschiebung der Nutöffnungen den gleichen Aufbau und insbesondere gleiche Geometrie.

Insbesondere können die Zähne, die zwischen benachbarten Nuten ausgebildet sind, gleiche Polform und Polbreite aufweisen und lediglich bezüglich der Position der Nutöffnungen, die verschiedenen Teil-Statoren zugeordnet sind, unterschiedlich sein.

30

Nach dem vorgeschlagenen Prinzip ist ein axialer Ausgleich der Rastmomente vorgesehen. Hierzu können zusätzlich vertiefte Nuten bei einem der Teil-Statoren vorgesehen sein.

Bei einer Teilung des Stators in Umfangsrichtung kann beispielsweise in einem Teil-Stator entlang des Umfangs in einem im Querschnitt halbkreisförmigen Segment des Stators eine  
5 Verschiebung der Nutöffnungen nach rechts und im gegenüberliegenden halben Segment, das heißt im anderen Teil-Stator, eine Verschiebung der Nutöffnungen nach links um einen betragsmäßig gleichen Winkel, vorgesehen sein.

10 In einer anderen Ausführungsform ist eine elektrische Maschine vorgesehen, die einen Stator wie vorstehend beschrieben umfasst. Relativ zum Stator drehbar gelagert ist ein Rotor vorgesehen. Der Rotor kann wie bei einer herkömmlichen Maschine ausgeführt sein und beispielsweise Permanentmagneten  
15 umfassen.

Alternativ zur rotationssymmetrischen Maschine ist auch das vorgeschlagene Prinzip bei einer Linearmaschine, also einem Linearmotor oder Lineargenerator anwendbar. In diesem Fall  
20 ist der Rotor längs des Stators beweglich vorgesehen.

Bei einer Linearmaschine sind die Nutöffnungen nicht um einen bestimmten Winkel, sondern um eine bestimmte Länge in Bewegungsrichtung des Rotors aus einer Symmetrieachse oder Mittel-  
25 tellage heraus verschoben.

Die elektrische Maschine umfasst beispielsweise einen der folgenden Typen: Linearmaschine, Axialflussmaschine, Radialflussmaschine, Asynchronmaschine, Synchronmaschine.  
30

Weiterhin kann die Maschine mit Innenläufer oder als Maschine mit Außenläufer aufgebaut sein.

Der Rotor kann als Käfigläufer oder, im Falle der Asynchronmaschine, als Mehrschichtrotor aufgebaut sein. Im Falle der Synchronmaschine kann der Rotor als Permanentmagnetrotor, Rotor mit vergrabenen Magneten, elektrisch gespeister Rotor, insbesondere Vollpolrotor, Schenkelpolrotor, Heteropolarrotor oder Homopolar-Rotor aufgebaut sein.

Die Erfindung wird nachfolgend an mehreren Ausführungsbeispielen anhand von Zeichnungen näher erläutert. Dabei sind gleiche oder gleich wirkende Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

Figur 1A ein erstes Ausführungsbeispiel eines Teilrotors nach dem vorgeschlagenen Prinzip in abgewickelter Darstellung,

Figur 1B die zugehörige Rastmomentkurve,

Figur 2A einen beispielhaften, zweiten Teilrotor nach dem vorgeschlagenen Prinzip,

Figur 2B die zu Figur 2A zugehörige Rastmomentkurve,

Figur 3 eine Kombination der Rastmomentkurven von Figur 1B und Figur 2B,

Figur 4A ein Ausführungsbeispiel des vorgeschlagenen Prinzips bei einer elektrischen Maschine mit einem ersten Teil-Stator,

Figur 4B die Darstellung von Figur 4A, jedoch mit einem zweiten Teil-Stator und

Figur 5 eine Kombination der Ausführungen von Figur 4A und Figur 4B entlang der Umfangsrichtung,

5 Figur 6A ein Ausführungsbeispiel eines Stators mit teilbarem Joch,

Figur 6B ein Ausführungsbeispiel eines Stators mit Linksverschiebung der Nutöffnungen,

10 Figur 6C ein Ausführungsbeispiel des Stators mit Rechtsverschiebung der Nutöffnungen,

Figur 6D eine Kombination von zwei Teil-Statoren gemäß Figuren 5B und 5C entlang der Umfangsrichtung des Stators.  
15

Figur 1A zeigt in abgewickelter Darstellung einen Stator 1 und einen Rotor 2, jeweils in einem Ausschnitt eines Querschnitts. Zwischen dem Stator 1 und dem Rotor 2 ist ein Luftspalt vorgesehen. Der Stator 1 weist eine Vielzahl von nebeneinander angeordneten Nuten 3 auf, zwischen denen Zähne 4 gebildet sind. Die Nuten haben einen quaderförmigen Querschnitt und je eine Nutöffnung 5. Die Nutöffnung 5 ist zum Luftspalt, das heißt zum Rotor hin, ausgerichtet. Die Nutöffnung hat eine geringere Breite als die Nut selbst, so dass sich die Nut zum Luftspalt hin verjüngt. Die Nut 3 hat eine Symmetrieachse A, ebenso hat auch die Nutöffnung eine Symmetrieachse B. Diese im Querschnitt als Achsen erkennbaren Symmetrielinien sind tatsächlich Symmetrieebenen der räumlich ausgedehnten elektrischen Maschine. Man erkennt, dass alle Nutöffnungen 5 eine Symmetrieachse B haben, die gegenüber der Symmetrieachse A der Nut 3 selbst um einen Winkel  $\alpha_{x1}$  nach rechts verschoben  
20  
25  
30

ist. Aufgrund der abgewickelten Darstellung ist der Winkel als Distanz dargestellt.

Mit anderen Worten ist die Nutöffnung nicht mittig an der zum  
5 Luftspalt hin gewandten Seite der Nut angeordnet, sondern dazu um den Winkel  $\alpha_{X1}$  verschoben.

Der Rotor 2 ist im Wesentlichen parallel zum Stator 1 angeordnet und weist in Form von Permanentmagneten Nord- und Süd-  
10 pole auf, deren Magnetisierung durch Pfeile dargestellt ist.

Anhand der Drehmomentkurven von Figur 1B erkennt man sofort, dass durch Rechtsverschiebung der Nutöffnungen auch eine Rechtsverschiebung der zugehörigen Rastmomentkurve erfolgt.  
15 Die konventionelle Maschine ist dabei eine, bei der die Symmetrieachse B der Nutöffnung und die Symmetrieachse A der Nut zusammenfällt, das heißt bei der keine Verschiebung der Nutöffnung aus dem Zentrum der Nut erfolgt. Der Winkel aus Figur 1A wäre bei der konventionellen Maschine null.

20 Gleiches gilt bei einer Linksverschiebung der Nutöffnung, wie in Figur 2A gezeigt. Hier ist die Symmetrieachse B der Nutöffnung 5 gegenüber der Symmetrieachse A der Nut 3 nach links verschoben, und zwar um den Winkel  $\alpha_{X2}$ . Dies gilt für alle  
25 Nutöffnungen des Stators gemäß Figur 2.

Die Verschiebungswinkel der Nutöffnungen der Nuten von Figuren 1A und 2A sind betragsmäßig gleich groß, jedoch entgegengesetzt gerichtet. Abgesehen davon sind der Aufbau und die  
30 Geometrie der Teil-Statoren von Figuren 1A und 2A gleich.

Wie anhand der zugehörigen Rastmomentkurve gemäß Figur 2B deutlich wird, führt die Linksverschiebung der Symmetrieach-

sen der Nutöffnungen und damit die Linksverschiebung der Nutöffnungen aus dem Zentrum heraus auch zu einer Linksverschiebung der zugehörigen Rastmomentkurve.

5 Wenn man nun beispielsweise die Statoren von Figur 1A und Figur 2A miteinander in einer einzigen Statorstruktur kombiniert, und zwar beispielsweise derart, dass die Hälfte der axialen Länge der Maschine dem Stator gemäß Figur 1A und die andere Hälfte dem Stator gemäß Figur 2A entspricht, so kann  
10 das resultierende Rastmoment des gesamten Stators zu Null reduziert werden. Beispielsweise können die Verschiebewinkel  $\alpha_{x1}$  und  $\alpha_{x2}$  gleich oder verschieden gewählt werden, abhängig vom Motordesign.

15 Für einen vorgegebenen Verschiebewinkel der Nutöffnungen können die Rastmomentkomponenten für den ersten und zweiten Teil des Rotors der Maschine um  $180^\circ$  elektrisch zueinander verschoben werden, wie anhand von Figur 3 dargestellt ist. In diesem Fall ist das resultierende Rastmoment des gesamten  
20 Stators beziehungsweise der gesamten Maschine komplett eliminiert.

Figuren 4A und 4B zeigen an einem anderen Ausführungsbeispiel jeweilige Teil-Statoren, die miteinander in axialer Richtung  
25 zu einem Gesamtstator kombiniert sind. In einem Teil der axialen Länge sind die Nutöffnungen nach rechts verschoben, wie in Figur 4A gezeigt ist. Im anderen Teil der axialen Länge des Stators sind die Nutöffnungen gegenüber dem Nutzentrum nach links verschoben, wie in Figur 4B gezeigt ist.

30

Man erkennt somit, dass in Figur 4A die Nutöffnungen aus dem Nutzentrum heraus um den Winkel  $\alpha_{x1}$  alle nach rechts verschoben sind oder mit anderen Worten im Uhrzeigersinn, während

Figur 4B eine Linksverschiebung betragsmäßig um den gleichen Winkel, jedoch in entgegen gesetzter Richtung, zeigt. Mit anderen Worten sind bei Figur 4B die Nutöffnungen im mathematisch positiven Sinn, also im Gegenuhrzeigersinn, verschoben.

5

Diese Art der Statorstruktur wird auch als Statorstruktur mit diskreten Nutöffnungen bezeichnet. In beiden Hälften der Maschine, das heißt im ersten Teil-Stator und im zweiten Teil-Stator, können diese mit den gleichen Laminierblechen gefertigt sein.

10

Alternativ können auch mehrere oder sogar beliebig viele Teil-Statoren in axialer Richtung hintereinander kombiniert werden, womit natürlich der Fertigungsaufwand wächst. Führt man den Grenzübergang durch, kann eine Statortopologie mit kontinuierlich veränderlichen Nutöffnungen erzielt werden.

15

Figur 5 zeigt im Gegensatz zu Figuren 4A und 4B keine Kombination von Teil-Statoren in axialer Richtung, sondern eine Kombination von Teil-Statoren in Umfangsrichtung. Dabei ist der im Wesentlichen kreisförmige Querschnitt des Stators in zwei gleich große Hälften geteilt, eine obere Hälfte 6 und eine untere Hälfte 7.

20

So ist in der oberen Bildhälfte der Figur 5 ein Teil-Stator 6 mit einer Rechtsverschiebung der Nutöffnungen um den Winkel  $\alpha_{x1}$ , analog zu Figur 4A, vorgesehen, während in der unteren Bildhälfte ein Teil-Stator 7 mit einer Verschiebung der Nutöffnungen nach links, also um den Winkel  $\alpha_{x2}$  vorgesehen ist.

25

30

Allgemein gilt, dass der Stator wie im Querschnitt gemäß Figur 5 beispielhaft gezeigt mit einstückigen Blechen in je einer Blechebene realisiert sein kann. Alternativ könnten auch

zwei oder mehr Bleche je Blechebene vorgesehen und bei der Fertigung miteinander kombiniert sein.

Auch dies ist eine einfach zu fertigende Lösung. In diesem  
5 Fall besteht der Statorkern nur aus einer Laminierstruktur in axialer Richtung. In der einen Hälfte der minimalen Symmetrie der Maschine werden die Nutöffnungen nach rechts verschoben und in der zweiten Hälfte der Minimumsymmetrie sind die Nutöffnungen nach links verschoben.

10

Gegenüber der Ausführung von Figur 4A und 4B hat die Ausführung gemäß Figur 5 den Vorteil, dass in axialer Richtung die Nutöffnung konstant ist, was wiederum die Bewicklung des Stators weiter vereinfacht. Selbstverständlich können mehr als  
15 zwei verschiedene diskrete Nutöffnungswinkel verwendet werden, das heißt dass der Stator aus mehr als zwei Teilstatoren bestehen kann. Bei der Aufteilung des Stators in Umfangsrichtung wie in Figur 5 an einem Beispiel gezeigt ist hier der begrenzende Faktor die minimale Symmetrie der Maschine.  
20

Sowohl die Ausführung gemäß Figur 4A und B, als auch die Ausführung von Figur 5 zeichnen sich dadurch aus, dass das Rastmoment und die Drehmomentwelligkeit mit einfachen Mitteln  
25 deutlich reduziert werden können. Die Produktionskosten sind im Wesentlichen die gleichen gegenüber einer konventionellen Statorstruktur.

30

Figuren 6A bis 6D zeigen eine beispielhafte modulare Konstruktion eines Stators nach dem vorgeschlagenen Prinzip, die zu einer besonders günstigen Montage und zu geringen Kosten in der Herstellung führt.

Für elektrische Maschinen mit konzentrierten Wicklungstopologien können die Herstellungskosten des Stators verringert werden, wenn der Stator Kern mittels separater Komponenten wie nachfolgend beschrieben modular konstruiert ist. Dies ist am  
5 Beispiel einer Maschine mit zwölf Zähnen und zehn Polen erläutert.

Wie in Figur 6A gezeigt, wird zunächst eine einzelne Statorkomponente konstruiert, die den Zahn und das halbe Joch um-  
10 fasst. Im nächsten Schritt wird eine konzentrierte Wicklung um den Statorzahn gewickelt, wie ebenfalls in Figur 6A in der oberen Bildhälfte ersichtlich ist. Die Wicklung ist im Querschnitt mit einem X markiert.

15 Zwei zusammengehörende Statorkomponenten, die beide den Aufbau und die Wicklung wie in der oberen Bildhälfte gezeigt haben, werden jochseitig, wie in der unteren Bildhälfte von Figur 6A gezeigt ist, miteinander kombiniert.

20 Der vollständige Stator wird durch Montage der Statormodule, wie in Figur 6B gezeigt, hergestellt. Die jeweils paarweise bereits kombinierten Statorkomponenten werden mittels weiterer nichtmagnetischer Teile zu dem Stator montiert.

25 Im Beispiel der Figuren 6A und 6B ergibt sich ein Teil-Stator mit Linksverschiebung der Nutöffnungen.

In analoger Weise kann, wie in Figur 6C gezeigt ist, durch die modulare Herstellungsmethode eine Konfiguration des Stators mit nach rechts verschobenen Nutöffnungen erzielt werden. Kombiniert man die Ausführungen gemäß Figur 6B und 6C  
30 als Teil-Statoren zu einem Gesamt-Stator in axialer Richtung,

ergibt sich eine ähnliche Ausführung, wie in Figuren 4A und 4B mit den dort beschriebenen Vorteilen.

Alternativ kann, wie in Figur 6D gezeigt, auch eine Kombination der Teil-Statoren in Umfangsrichtung erfolgen, analog zu der Ausführung gemäß Figur 5. Auch bei der Ausführung gemäß Figur 6D können mehr als zwei unterschiedliche Nutöffnungswinkel für die Verschiebung der Nutöffnung eingesetzt werden, was in entsprechender Anzahl von Teil-Statoren resultiert. Begrenzend ist hier die minimale Symmetrie des Stators der Maschine.

Wie anhand der Ausführungsbeispiele deutlich wird, erlaubt es das vorgeschlagene Prinzip, einen Stator sowie eine elektrische Maschine mit dem Stator zu erzielen, welche eine Verringerung oder vollständige Kompensation der Rastmomente bewirkt und zugleich mit geringem Aufwand herstellbar ist und einen guten Wirkungsgrad erzielt. Die vorgeschlagene Stator-Topologie kann für alle Arten der bekannten elektrischen Maschinen eingesetzt werden, wie beispielsweise Asynchronmaschine, Permanentmagnet (PM) erregte Synchronmaschine, bürstenlose Gleichstrom-PM-Maschine, geschaltete Reluktanzmaschine, synchrone Reluktanzmaschine, Gleichstrommaschine und so weiter. Zudem ist der Einsatz für unterschiedliche Kombinationen von Rotorpolzahlen und Statornutzahlen möglich und sinnvoll.

## Bezugszeichenliste

	1	Stator
	2	Rotor
5	3	Nut
	4	Zahn
	5	Nutöffnung
	6	Teil-Stator
	7	Teil-Stator
10	A	Symmetrieachse der Nut
	B	Symmetrieachse der Nutöffnung
	$\alpha_1$	Verschiebungswinkel
	$\alpha_2$	Verschiebungswinkel

## Patentansprüche

1. Stator für eine elektrische Maschine, der Stator (1) umfassend:  
5 einen ersten Teil-Stator (6) und mindestens einen zweiten Teil-Stator (7), die jeweils Nuten (3) zur Aufnahme von Wicklungen aufweisen,  
wobei Nutöffnungen (5) der Nuten des mindestens einen  
zweiten Teil-Stators (7) im Bezug auf Nutöffnungen der  
10 Nuten des ersten Teil-Stators (6) in Umfangsrichtung verschoben sind und  
die beiden Teil-Statoren miteinander axial und/oder in Umfangsrichtung kombiniert sind.
  
- 15 2. Stator nach Anspruch 1,  
bei dem die Nutöffnungen (5) der Nuten des mindestens einen zweiten Teil-Stators (7) im Bezug auf die Nutöffnungen der Nuten des ersten Teil-Stators (6) in Umfangsrichtung derart verschoben sind, dass das Rastmoment der  
20 Teil-Statoren gegenseitig kompensiert und/oder die Drehmomentwelligkeit reduziert ist.
  
3. Stator nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem die mindestens zwei Teil-Statoren (6, 7), abgesehen von der Verschiebung der Nutöffnungen (5), den  
25 gleichen Aufbau, insbesondere gleiche Geometrie haben.
  
4. Stator nach Anspruch 1 oder 2,  
bei dem die mindestens zwei Teil-Statoren (6, 7) zwischen benachbarten Nuten Polzähne aufweisen, welche  
30 gleiche Polform und Polbreite, jedoch zueinander verschobene Nutöffnungen (5) haben.

5. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
bei dem die Teil-Statoren (6, 7) in axialer Richtung  
kombiniert sind und unterschiedlich tiefe Nuten vorgese-  
hen sind.
- 5
6. Stator nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
bei dem die Teil-Statoren (6, 7) in Umfangsrichtung kom-  
biniert sind und der Stator zumindest ein teilbares Joch  
aufweist.
- 10
7. Elektrische Maschine mit einem Stator nach einem der  
Ansprüche 1 bis 6 sowie weiter umfassend:  
einen relativ zum Stator (1) drehbar gelagerten Ro-  
tor (2).
- 15
8. Elektrische Maschine nach Anspruch 7,  
bei der die elektrische Maschine einen der folgenden Ty-  
pen umfasst: Linearmaschine, Axialflussmaschine, Radial-  
flussmaschine, Asynchronmaschine, Synchronmaschine.
- 20
9. Elektrische Maschine nach Anspruch 7 oder 8,  
die als Maschine mit Innenläufer oder als Maschine mit  
Außenläufer aufgebaut ist.
- 25
10. Elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 7 bis 9,  
bei der der Rotor (2) von einem der folgenden Typen ist:  
Käfigläufer, Mehrschichtrotor im Falle der Asynchronma-  
schine oder im Falle der Synchronmaschine Permanentmag-  
netrotor, Rotor mit vergrabenen Magneten oder ein elekt-  
risch gespeister Rotor, insbesondere Vollpolrotor,  
30 Schenkelpolrotor, Heteropolar-Rotor, Homopolar-Rotor.

FIG 1A

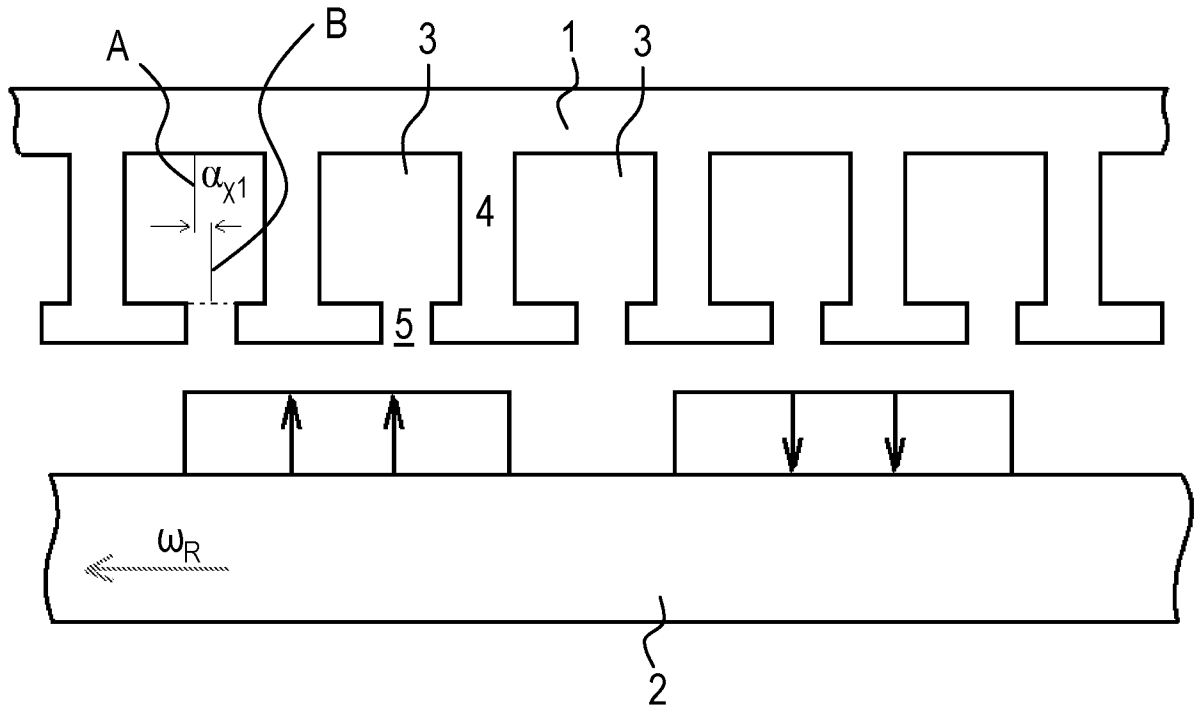


FIG 1B

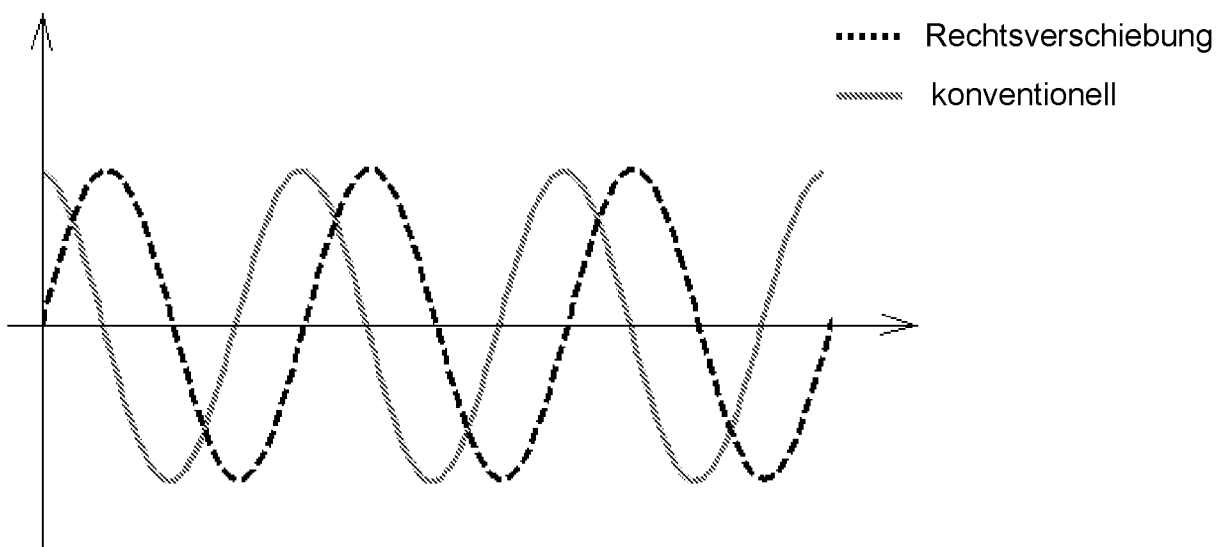


FIG 2A

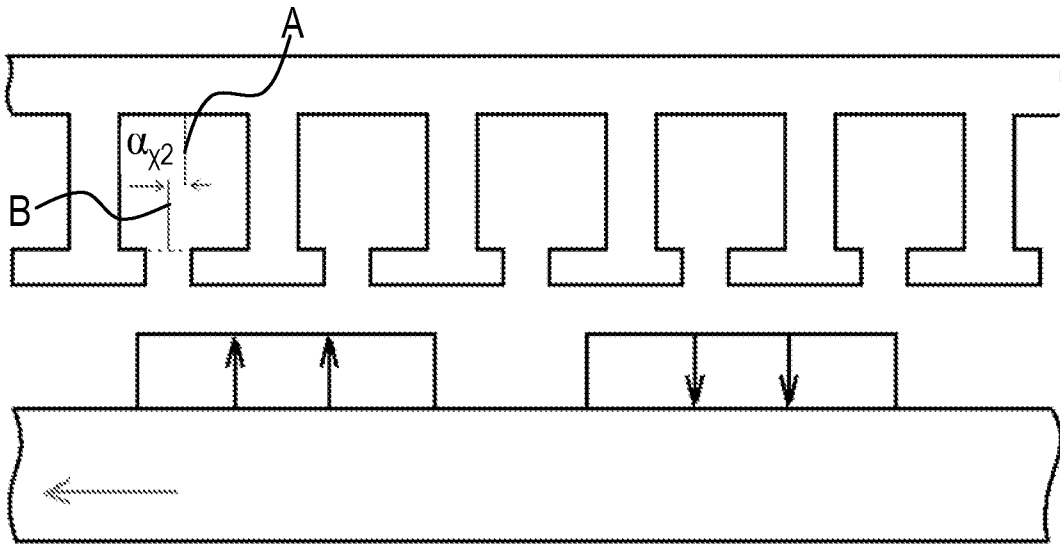


FIG 2B

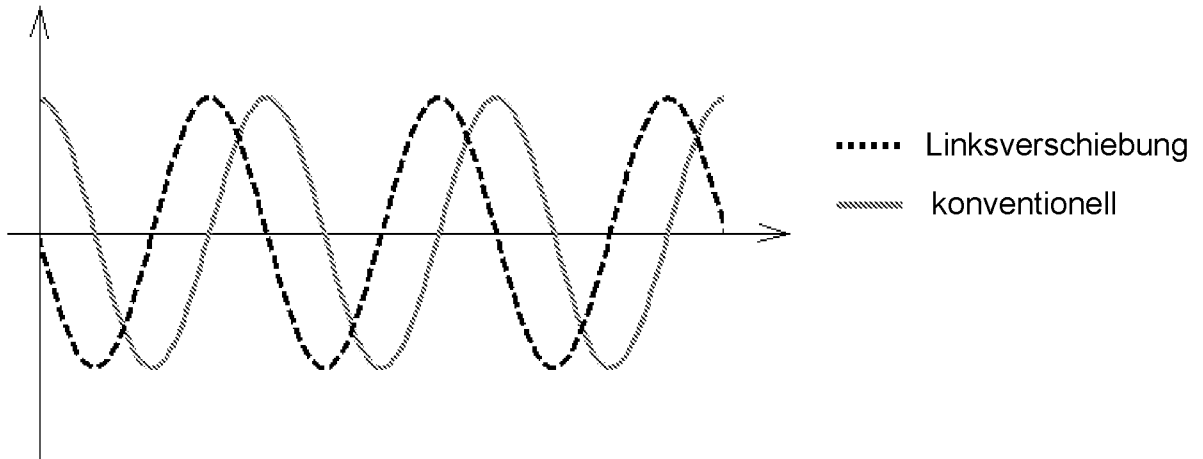


FIG 3

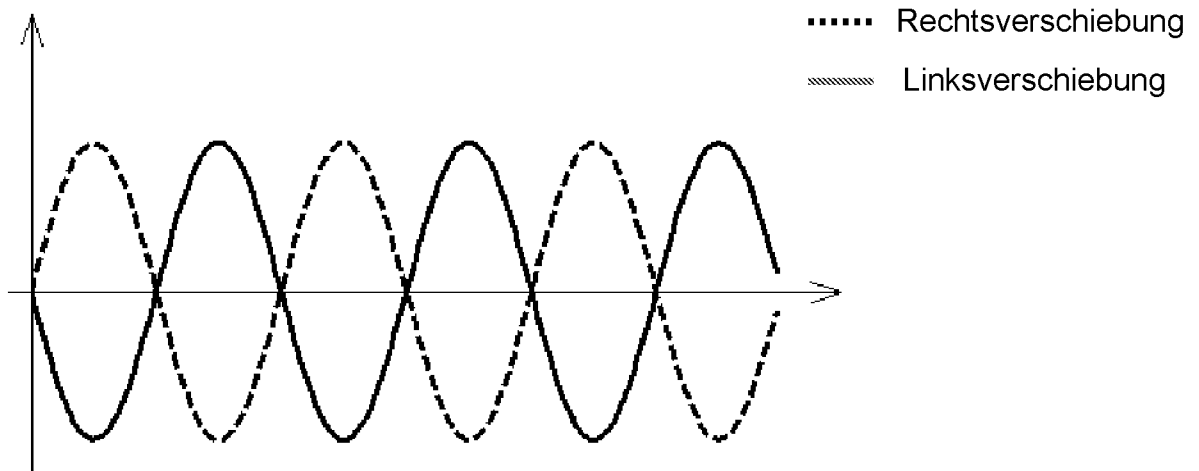
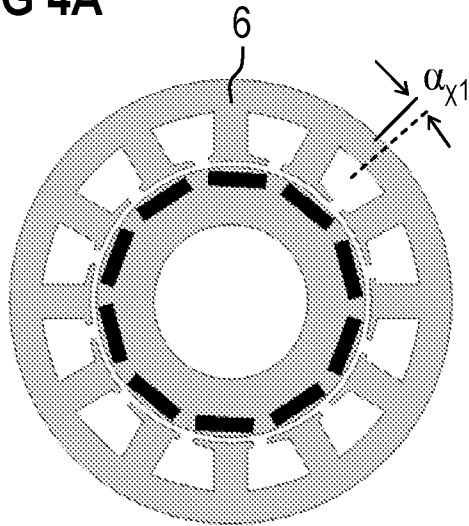
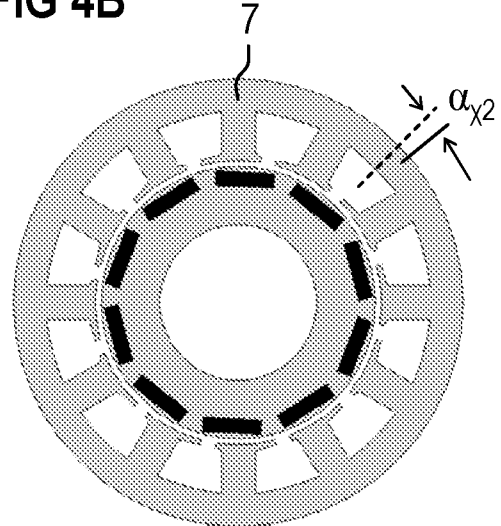


FIG 4A



Rechtsverschiebung

FIG 4B



Linksverschiebung

FIG 5

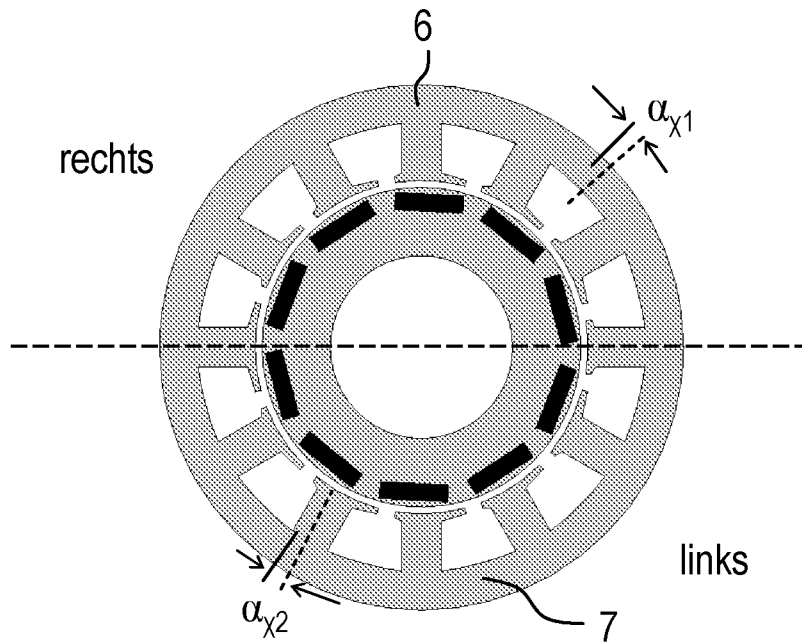


FIG 6A

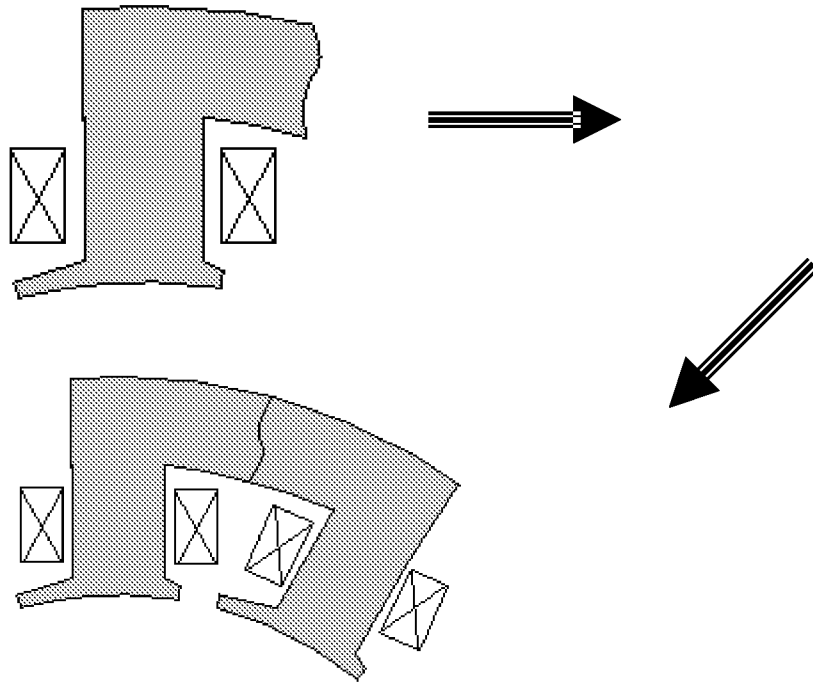


FIG 6B

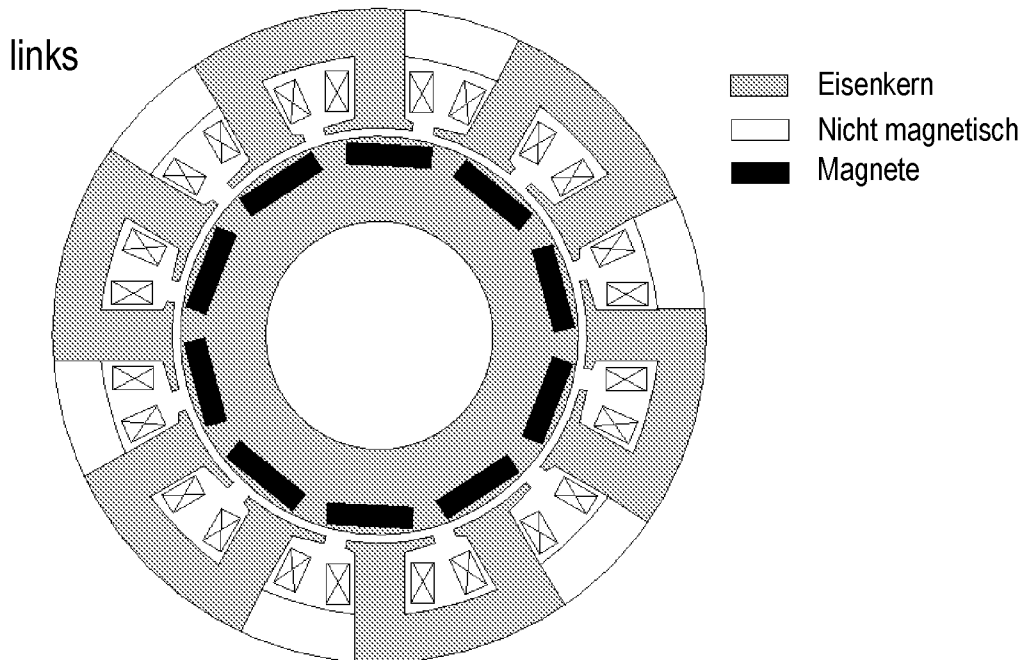
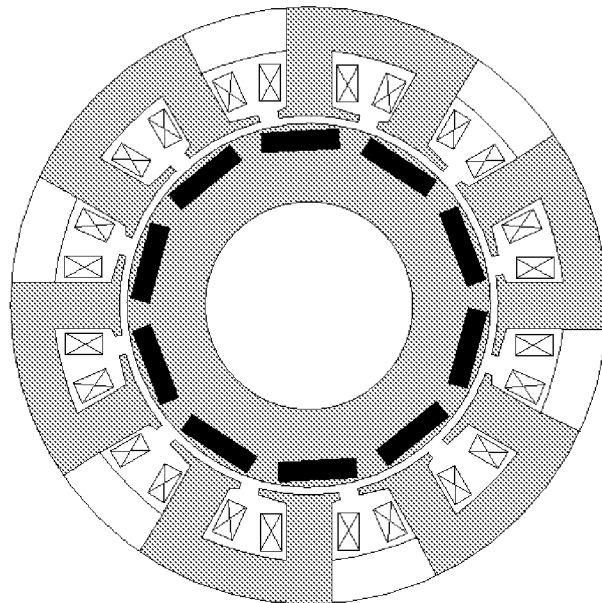


FIG 6C






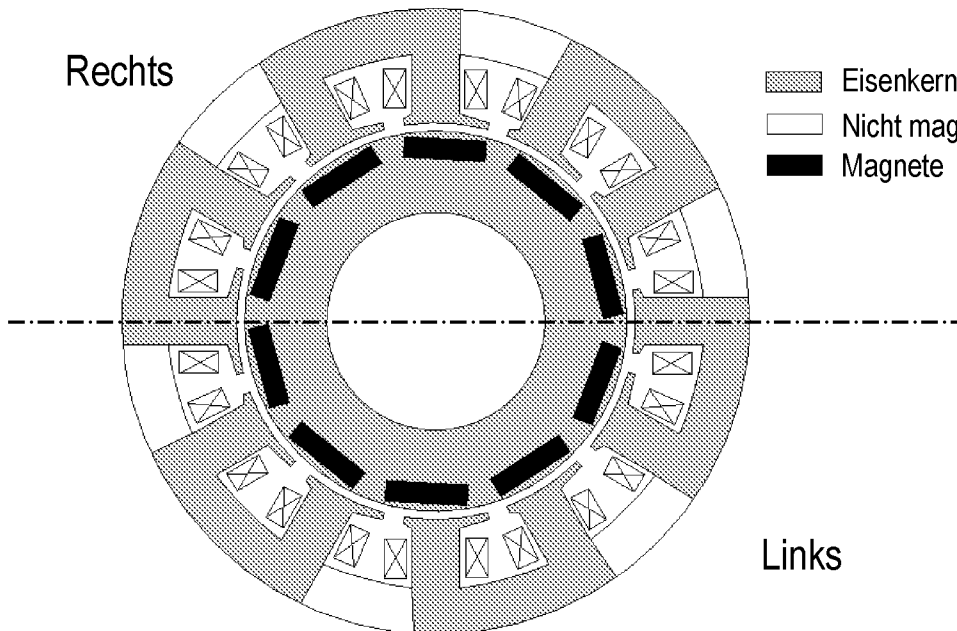



-  Eisenkern
-  Nicht magnetisch
-  Magnete

FIG 6D



-  Eisenkern
-  Nicht magnetisch
-  Magnete

Rechts

Links