

(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
16. August 2012 (16.08.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/107020 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2012/000074
- (22) Internationales Anmeldedatum:
31. Januar 2012 (31.01.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 010 879.3
10. Februar 2011 (10.02.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG & CO. KG** [DE/DE]; Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **GRAMMAN, Matthias** [DE/DE]; Lilienweg, 77871 Renchen (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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, 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: RELUCTANCE MOTOR

(54) Bezeichnung : RELUKTANZMOTOR

(57) Abstract: The invention relates to a reluctance motor comprising a rotor and a stator that has a wound core, around which a stator coil is wound and which is open on one side and has legs, said legs being arranged around the periphery and forming spaced-apart pairs of legs. Multiple rotor teeth which are distributed around the periphery and periodically establish a magnetic flux between the legs radially engage between the legs. In order to positively change the characteristic curve of the magnetic flux of the legs and teeth, the teeth continuously form an area overlap with the legs in the direction of rotation of the rotor in accordance with the angle of rotation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Reluktanzmotor mit einem Rotor und einem Stator mit von zumindest einer Statorspule umwickeltem, einseitig offenem Wickelkern mit über den Umfang angeordneten jeweils voneinander beabstandeten Schenkelpaare bildenden Schenkeln, wobei zwischen den Schenkeln mehrere über den Umfang verteilte, periodisch einen Magnetfluss zwischen den Schenkeln einstellende Zähne des Rotors radial eingreifen. Um die Kennlinie des Magnetflusses der Schenkel und Zähne positiv zu verändern, bilden die Zähne in Laufrichtung des Rotors eine drehwinkelabhängig sich kontinuierlich ausbildende Flächenüberschneidung mit den Schenkeln.



WO 2012/107020 A2

- 1 -

Reluktanzmotor

Die Erfindung betrifft einen Reluktanzmotor mit einem Rotor und einem Stator mit von zumindest einer Statorspule umwickeltem, einseitig offenem Wickelkern mit über den Umfang angeordneten jeweils voneinander beabstandeten Schenkelpaare bildenden Schenkeln, wobei zwischen den Schenkeln mehrere über den Umfang verteilte, periodisch einen Magnetfluss zwischen den Schenkeln einstellende Zähne des Rotors radial eingreifen.

Ein gattungsgemäßer Reluktanzmotor ist beispielsweise in Form einer Transversalfeldmaschine aus der WO 1999 019 861 A1 bekannt. Der Stator ist hierbei aus mehreren entlang der Rotationsachse des Rotors aneinander angeordneten Statorspulen gebildet, mit denen der Wickelkern umwickelt ist. Der Wickelkern weist mehrere Schenkelpaare mit voneinander beabstandeten Schenkeln auf, wobei diese Schenkelpaare zur Bildung einer Phase eine Statorspule axial zwischen sich einschließen und radial außen durch Beabstandung der Schenkel voneinander einen offenen Magnetkreis bilden. Zur Bildung mehrerer Phasen sind mehrere Statorspulen axial entlang der Rotationsachse unter Trennung durch über den Umfang verteilte Schenkel angeordnet. Der Magnetfluss zwischen den Schenkeln eines Schenkelpaars wird bei Verdrehung und Bestromung der Statorspule durch über den Umfang verteilte Zähne des Rotors hergestellt, die unter Ausbildung zweier Luftspalte axial zwischen die Schenkel eines Schenkelpaars eindrehen.

Prinzipiell erfolgt die Steuerung des Reluktanzmotors über die Einschaltzeiten der auf die Phasen wirksamen Bestromung. Dies bedingt, dass der Aufbau des Magnetfeldes synchron mit der Veränderung des magnetischen Kreises erfolgen muss. Die Veränderung des magnetischen Kreises erfolgt durch Relativbewegung der Flussleitstücke in Form der Schenkel und Zähne zueinander. Dabei erfolgt zu Beginn des Schließens an jeweils einem der zahlreichen Magnetkreise ein steiler Momentenaufbau und daher zu steilen und spitzen Kennlinien des Magnetflusses über den Verdrehwinkel des Rotors. Dies kann unter anderem zu einer unerwünschten Geräuschbildung führen. Hierdurch wird insbesondere bei höheren Drehzahlen eine zeitlich genaue Ansteuerung der Statorspulen erschwert. So müssen insbesondere bei hochpoligen Reluktanzmotoren an die mechanischen Toleranzen extrem hohe Anforderungen gestellt werden, um die additiv zu den Fehlern der Ansteuerung auftretenden, toleranzbedingten Fehler zu minimieren.

BESTÄTIGUNGSKOPIE

- 2 -

Aufgabe der Erfindung ist daher, einen Reluktanzmotor so zu verbessern, dass flachere Kennlinien resultieren und insbesondere bei hochpoligen Reluktanzmotoren eine verbesserte Ansteuerung erzielt wird. Insbesondere soll dabei auch eine geringe Geräuschentwicklung erzielt werden.

Die Aufgabe wird durch einen Reluktanzmotor mit einem Rotor und einem Stator mit von zumindest einer Statorspule umwickeltem, einseitig offenem Wickelkern mit über den Umfang angeordneten jeweils voneinander beabstandeten Schenkelpaare bildenden Schenkeln gelöst, wobei zwischen den Schenkeln mehrere über den Umfang verteilte, periodisch einen Magnetfluss zwischen den Schenkeln einstellende Zähne des Rotors radial eingreifen und die Zähne in Laufrichtung des Rotors eine drehwinkelabhängig sich kontinuierlich ausbildende Flächenüberschneidung mit den Schenkeln bilden. Durch die kontinuierlich mit dem Verdrehwinkel des Rotors gegenüber dem Stator ansteigende Flächenüberschneidung in Form von beispielsweise gegeneinander in Umfangsrichtung winkelverdrehen Überschneidungsflächen kann eine Überschneidung in Form einer Sprungfunktion bei durch die Rotationsachse nach radial außen geradlinigen Schenkeln und Zähnen vermieden werden. Hierdurch bilden sich sich kontinuierlich entwickelnde Magnetflüsse und Momente aus, die einfacher zu kontrollieren sind und eine geringere Toleranzempfindlichkeit aufweisen, so dass die elektrische Steuerung der Statorspulen vereinfacht wird.

Die Art der Ausbildung der Flussleitstücke – Zähne und/oder Schenkel – wirken sich unmittelbar auf die Kennlinien des Magnetflusses aus, die beispielsweise durch den kontinuierlichen Aufbau der Überschneidungsflächen insbesondere an deren Anstiegs- und Abklingflanken weniger steil und insgesamt breiter ausgebildet sind, wodurch sich die Ansteuerzeiten und das Geräuschverhalten verbessern lassen. So ist es möglich, durch gezielte Geometrieauswahl der Flussleitstücke das Schließen und Öffnen der Magnetkreise günstig auszulegen. Im Weiteren werden die Kennlinien derart beeinflusst, dass die Peakmaxima hin zu größeren Verdrehwinkeln verschoben werden. Die geleistete Arbeit der Magnetkreise bleibt auf einem ähnlichen Niveau wie in Magnetkreisen mit mit zunehmendem Verdrehwinkel sprunghaft ansteigender Überschneidung der Überschneidungsflächen.

Besonders vorteilhaft ist die Anwendung der sich kontinuierlich abhängig vom Verdrehwinkel überschneidenden Überschneidungsflächen bei Transversalfussmaschinen. Hierbei können die als Zähne ausgebildeten, den Magnetfluss zwischen den Schenkeln eines Schenkelpaares zueinander axial beabstandeter Schenkel herstellenden Flussleitbleche in Umfangsrich-

- 3 -

tung betrachtet keilförmig ausgebildet sein. Durch den Winkel der Keile überschneiden sich Schenkel und Zähne zuerst radial außen, wobei mit zunehmendem Verdrehwinkel des Rotors gegenüber den Schenkeln die Überschneidungsfläche kontinuierlich ansteigt, um dann nach Überschreiten der maximalen Überschneidungsfläche mit größtmöglichem Magnetfluss wieder kontinuierlich abzufallen.

Die Darstellung der Keilform an den Zähnen kann durch zusätzlich an im Wesentlichen in Umfangsrichtung mit ursprünglich rechteckigem Querschnitt versehene Zähne mittels zusätzlich angebrachter Flussleitstücke vorgesehen sein. Alternativ kann die Keilform der Zähne an den bevorzugt aus zu einer an dem Rotor befestigten Ringform mit den über den Umfang verteilten Zähnen aneinander gelegten Blechen gebildeten Flussleitblechen ausgebildet sein. Hierbei kann die Keilform an den Zähnen einteilig vorgesehen sein, wobei jeder Zahn an sich aus mehreren aneinander gelegten, die keilförmigen Ausbildungen vorsehenden Blechteilen gebildet sein kann.

Gemäß dem erfinderischen Gedanken kann der Reluktanzmotor als Innen- oder Außenläufer vorgesehen sein, wobei bei einem bevorzugten Außenläufer der Wickelkern nach radial außen U-förmig ausgebildete Schenkelpaare von Schenkeln aufweist, wobei von radial außen die nach radial innen am Rotor erweiterten und über den Umfang bevorzugt in derselben Anzahl der Schenkelpaare verteilte in Umfangsrichtung keilförmig ausgebildete Zähne radial zwischen die Schenkel eingreifen und Zähne und Schenkel jeweils einander axial zugewandte Überschneidungsflächen bilden, die mit zunehmendem Verdrehwinkel kontinuierliche ansteigen und wieder abnehmen.

Nach einem besonders vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist der Reluktanzmotor mehrphasig ausgebildet. Beispielsweise weist eine Transversalflussmaschine mehrere, entlang einer Rotationsachse des Rotors angeordnete Phasen mit jeweils einer Statorspule auf, die jeweils durch eine Ebene über den Umfang verteilter, zum Wickelkern gehöriger Schenkel gebildet wird. Die Schenkel sind dabei radial innen miteinander verbunden, so dass je nach Beschaltung der Statorspulen jeweils die sich axial gegenüberliegenden, die zu bestromende Spule einschließenden Schenkel ein Schenkelpaar bilden und der Magnetkreis dieses Schenkelpaars durch einen radial außen in dessen Schenkel eingreifenden Zahn geschlossen wird. Es hat sich dabei als vorteilhaft erwiesen, wenn die Schenkel des Wickelkerns entlang der Rotationsachse in Umfangsrichtung versetzt sind. Diese können so gegeneinander versetzt sein, dass ein Winkelabstand zwischen den axial vorderen und axial hinteren Schenkeln des Wi-

- 4 -

ckelkerns durch die axial entlang der Rotationsachse angeordneten Schenkel gleichmäßig ausgeglichen ist. Hierdurch ergibt sich eine über eine Umdrehung des Rotors hinausgehende gleichmäßige Momententwicklung durch Bildung von Magnetflüssen bei axial zyklisch durchlaufener Bestromung der Statorspulen der einzelnen Phasen.

Die Erfindung wird anhand des in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Dabei zeigen:

- | | |
|-------------------|---|
| Figur 1 | eine 3D-Ansicht eines Stators eines als Transversalflussmaschine ausgebildeten Reluktanzmotors, |
| Figur 2 | eine Frontansicht des Stators der Figur 1 mit einem Zahn eines Rotors, |
| Figur 3 | ein Detail der Figur 3, |
| Figuren 4a bis 4c | Detaildarstellungen des Stators der Figuren 1 bis 3 mit dem Zahn des Rotors. |

Die Figur 1 zeigt in 3D-Ansicht den Stator 2 eines nicht komplett dargestellten als Transversalflussmaschine 3 in Form eines Außenläufers 4 ausgebildeten Reluktanzmotors 1. Der Stator 2 ist in nicht dargestellter Form drehfest mit einem Gehäusebauteil oder dergleichen verbunden. Der Wickelkern 5 ist bevorzugt aus einer Vielzahl von miteinander verbundenen, weichmagnetischen Flussleitblechen 6 gebildet und weist über den Umfang verteilte voneinander axial beabstandete weichmagnetische Schenkel 7 auf, die über den Umfang verteilt jeweils voneinander axial beabstandete Schenkelebenen 8 bilden, zwischen denen jeweils axial die Statorspulen 9 angeordnet sind. Jeweils zwei auf demselben Umfang angeordnete und eine Statorspule 9 axial zwischen sich einschließende Schenkel 7' bilden ein Schenkelpaar 10.

Der um den Stator 2 angeordnete – nicht dargestellte – und um die Rotationsachse A drehende Rotor weist nach radial innen gerichtete, weichmagnetische Flussleitbleche in Form von Zähnen auf, die über den Umfang verteilt und unter Bildung von Zahnenebenen jeweils zwischen die Schenkel 7' der entlang der Rotationsachse A und über den Umfang verteilten Schenkelpaare 10 eingreifen. Hierbei bildet jeweils ein Zahn bei entsprechender Winkelverdrehung des Rotors mit den Schenkeln 7' eines Schenkelpaars 10 einen geschlossenen Magnetkreis, an dem sich bei Bestromung der zugehörigen Statorspule 9 ein Magnetfluss ausbildet. In dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Schenkel 7 entlang der Rotationsachse A in Linie angeordnet. Diese können auch über den Umfang so verdreht sein, dass die Schenkel 7 der einzelnen Schenkelebenen 8 entlang der Rotationsachse A gleichmäßig gegeneinander

- 5 -

verdrehen sind und Positionen zwischen einem Teilungsabschnitt des Teilkreises über den Umfang verteilter Schenkel 7 einnehmen.

Die Figur 2 zeigt den Stator 2 der Figur 1 in Frontansicht mit einem einzelnen Zahn 11 der über den Umfang verteilt angeordneten Zähne des Rotors. Der Zahn 11 ist in Umfangsrichtung keilförmig ausgebildet und ist in der Figur 2 in Umfangsrichtung zwischen zwei in Umfangsrichtung benachbarten Schenkeln 7a, 7b der Schenkelpaare 10a, 10b angeordnet, so dass der Magnetkreis keines der Schenkelpaare 10a, 10b geschlossen ist und daher kein oder lediglich ein vernachlässigbarer Magnetfluss entsteht. Bei weiterer Verdrehung des Rotors und damit des Zahns 11 in Richtung des Pfeils 12 um die Rotationsachse A dreht der Zahn 11 in das Schenkelpaar 10b und schließt dessen Magnetkreis, wobei ein Magnetfluss fließt, wenn die zugehörige Statorspule 9 bestromt ist.

Figur 3 zeigt die Überschneidungsflächen 13, 14 des Zahns 11 und der dahinter liegenden Schenkel 7. Die Überschneidungsfläche 13 ist durch die keilförmige Ausbildung des Zahns 11 trapezförmig ausgebildet, indem der rechteckigen Ausbildung des Zahns 11 mit der rechteckigen Grundfläche 13a mittels der in Umfangsrichtung beidseitig an dem Zahn 11 angebrachten zusätzlichen Flussleitstücke 15 die Zusatzflächen 13b beigefügt werden. Die Überschneidungsflächen 14 der Schenkel 7 und der axial gegenüber liegenden ein Schenkelpaar bildenden – nicht dargestellten – Schenkel bleibt unverändert. Im ursprünglichen Zustand des Zahns 11 mit der rechteckigen Grundfläche 13a überschneiden sich Grundfläche 13a und Überschneidungsflächen 14 der axial gegenüberliegenden Schenkel sprunghaft. Hierdurch wird die Kennlinie des sich schließenden Magnetkreises in Form des sich über den Verdrehwinkel entlang einer Überschneidung ändernden Magnetflusses steil ansteigend und anschließend steil abfallend ausgebildet. Damit wirken bei bestromter Statorspule 9 über die über den Umfang verteilten Zähne 11 auf den Rotor entsprechend starke Beschleunigungen infolge der auftretenden magnetischen Momente. Diese bedingen eine schlechte Steuerbarkeit des Rotors und damit des drehwinkelabhängigen Bestromens der Statorspulen und können zu einer ungewünschten Geräuschbildung führen. Durch Zufügen der Zusatzflächen 13b bildet sich bei zunehmender Verdrehung aufgrund des durch die Keilform des Zahns 11 zwischen den Überschneidungsflächen 13, 14 eingestellten Winkels α eine kontinuierliche, nicht sprunghafte Ausbildung der Überschneidungsflächen eine wesentlich flachere Kennlinie des magnetischen Moments auf, welches den Rotor weniger ruckartig beschleunigt, so dass eine Winkelsteuerung der Bestromung der Statorspulen 9 einfacher und genauer, beispielsweise auf 1° bis 2° genau erfolgen kann und eine geringere Geräuschbelastung auftritt.

- 6 -

Die Figuren 4a bis 4c zeigen jeweils einen Ausschnitt aus dem Reluktanzmotor 1 der Figur 1 im Detail. Figur 4a zeigt eine Schrägansicht auf den Zahn 11 mit den diesen keilförmig erweiternden Flussleitstücken 15 in Umfangsrichtung zwischen den einander in Drehrichtung in Richtung des Pfeils 16 folgenden Schenkelpaaren 10c, 10d. Die Figur 4b zeigt einen Blick in die Gasse 18 der entlang der Rotationsachse A (Figur 1) hintereinander angeordneten Schenkelpaare 10', 10'' zur Bildung unterschiedlicher Phasen des Reluktanzmotors 1. Hierbei bewegt sich der Zahn 11 in Richtung des der Rotationsachse A folgenden Pfeils 16. Die Figur 4c zeigt eine Aufsicht auf die in Umfangsrichtung angeordneten, aus den Schenkeln 7a, 7b einerseits und 7c, 7d andererseits gebildeten Schenkelpaare 10c, 10d. Die Schenkel 7a, 7b, 7c, 7d nehmen zwischen sich die Statorspule 9 sowie die über den Umfang verteilten keilförmigen Zähne des Rotors auf, von denen der Zahn 11 beispielhaft dargestellt ist. Zwischen den Zähnen wie Zahn 11 und den Schenkeln 7a, 7b, 7c, 7d bilden sich abhängig vom Verdrehwinkel des Rotors über den Umfang nacheinander die Magnetkreise der Schenkelpaare 10c, 10d unter Einhaltung der Luftspalte 17 und Ausbildung der Überschneidungsflächen 13, 14 aus.

Bezugszeichenliste

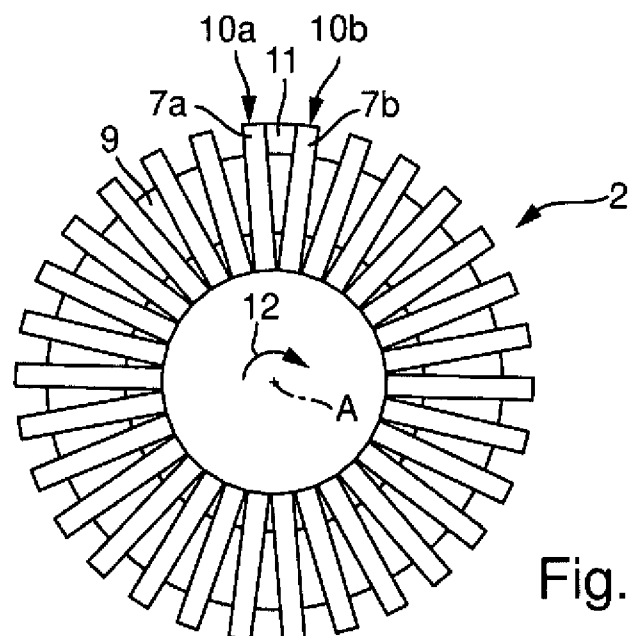
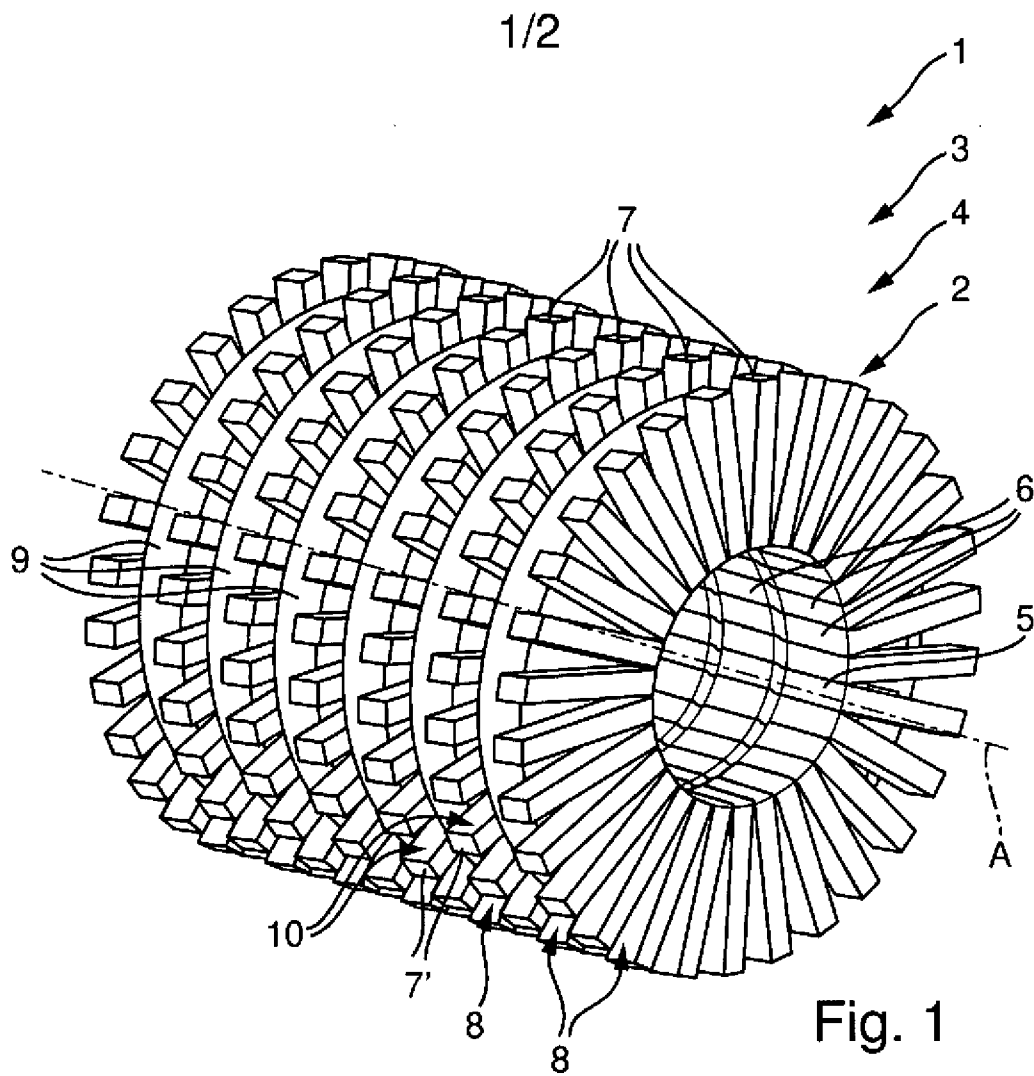
1	Reluktanzmotor
2	Stator
3	Transversalflussmaschine
4	Außenläufer
5	Wickelkern
6	Flussleitblech
7	Schenkel
7a	Schenkel
7b	Schenkel
7c	Schenkel
7d	Schenkel
7'	Schenkel
8	Schenkelebene
9	Statorspule
10	Schenkelpaar
10a	Schenkelpaar
10b	Schenkelpaar
10c	Schenkelpaar
10d	Schenkelpaar
10'	Schenkelpaar
10''	Schenkelpaar
11	Zahn
12	Pfeil
13	Überschneidungsfläche
13a	Grundfläche
13b	Zusatzfläche
14	Überschneidungsfläche
15	Flussleitstück
16	Pfeil
17	Luftspalte
18	Gasse
A	Rotationsachse
α	Winkel

Patentansprüche

1. Reluktanzmotor (1) mit einem Rotor und einem Stator (2) mit von zumindest einer Statorspule (9) umwickeltem, einseitig offenem Wickelkern (5) mit über den Umfang angeordneten jeweils voneinander beabstandeten Schenkelpaare (10, 10a, 10b, 10c, 10d, 10' 10'') bildenden Schenkeln (7, 7a, 7b, 7c, 7d, 7'), wobei zwischen den Schenkelpaaren (10, 10a, 10b, 10c, 10d, 10', 10'') mehrere über den Umfang verteilte, periodisch einen Magnetfluss zwischen den Schenkeln (7, 7a, 7b, 7c, 7d, 7') einstellende Zähne (11) des Rotors radial eingreifen, dadurch gekennzeichnet, dass die Zähne (11) in Laufrichtung des Rotors eine drehwinkelabhängig sich kontinuierlich ausbildende Flächenüberschneidung mit den Schenkeln (7, 7a, 7b, 7c, 7d, 7') bilden.
2. Reluktanzmotor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieser als Transversalflossmaschine (3) ausgebildet ist und die Zähne (11) in Umfangsrichtung betrachtet keilförmig ausgebildet sind.
3. Reluktanzmotor (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass an den Zähnen (11) die Keilform ausbildenden Flussleitstücke (15) angebracht sind.
4. Reluktanzmotor (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zähne einteilig keilförmig ausgebildet sind.
5. Reluktanzmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass dieser als Außenläufermotor (4) ausgebildet ist.
6. Reluktanzmotor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass dieser aus mehreren, entlang einer Rotationsachse (A) des Rotors angeordneten Phasen mit jeweils einer Statorspule (9) und den Wickelkern (5) bildende, die Statorspulen (9) voneinander abgrenzende Schenkelebenen (8) von über den Umfang verteilten Schenkeln (7, 7a, 7b, 7c, 7d, 7') gebildet ist.

- 9 -

7. Reluktanzmotor (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schenkel (7, 7a, 7b, 7c, 7d, 7') der Phasen entlang der Rotationsachse (A) in Umfangsrichtung versetzt sind.



2/2

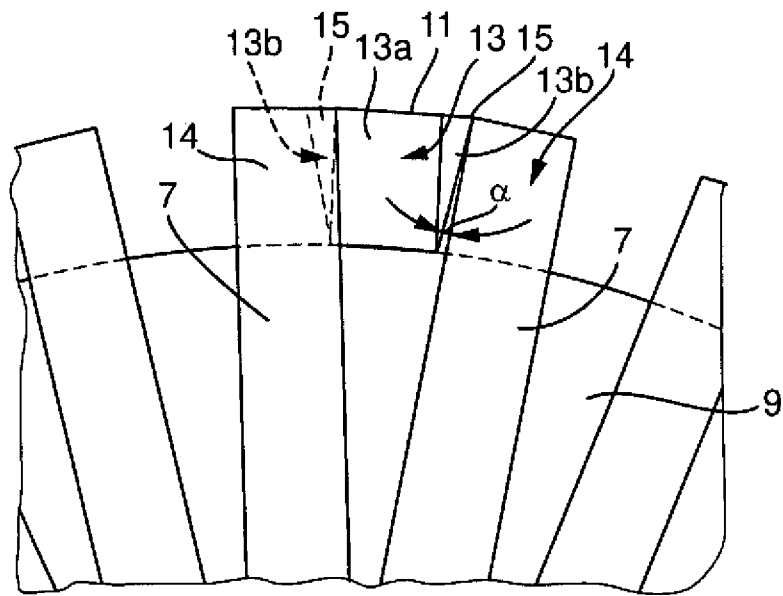


Fig. 3

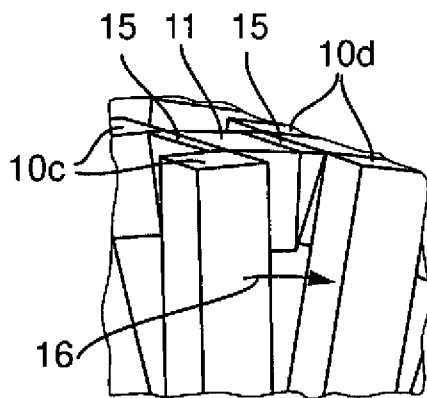


Fig. 4a

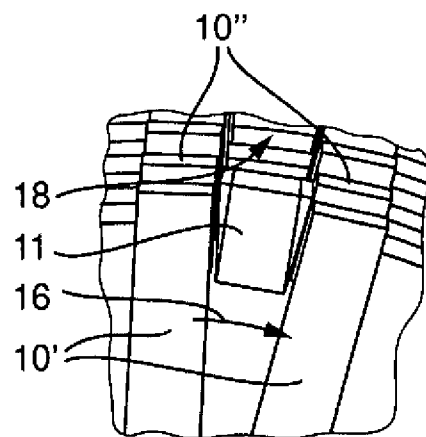


Fig. 4b

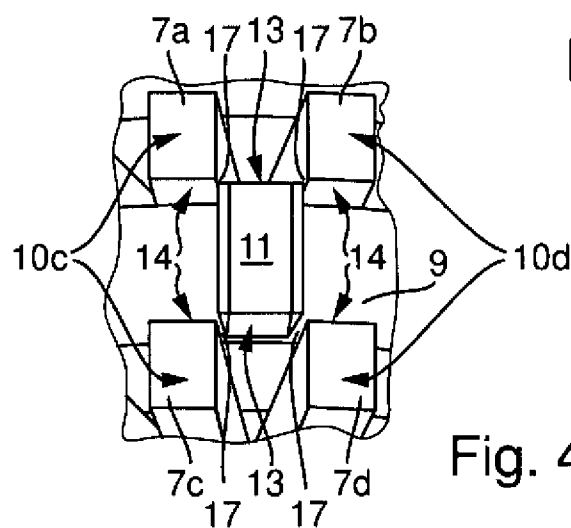


Fig. 4c