

(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
10. Oktober 2013 (10.10.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/150061 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 1/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/057002

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. April 2013 (03.04.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102012205567.3 4. April 2012 (04.04.2012) DE

(71) Anmelder: **KSB AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Johann-Klein-Straße 9, 67227 Frankenthal (DE).

(72) Erfinder: **URSCHEL, Sven**; Bissersheimer Straße 30,
67281 Kirchheim an der Weinstraße (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, PA, 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, 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).

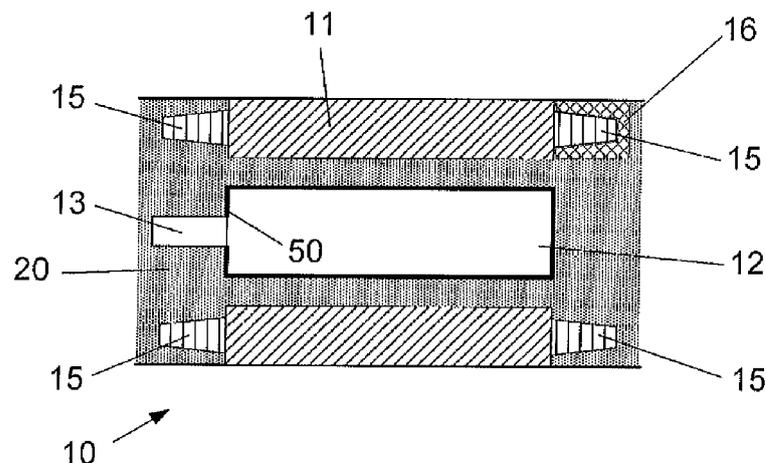
Veröffentlicht:

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

(54) Title: SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR AND UNDERWATER PUMP

(54) Bezeichnung : SYNCHRON-RELUKTANZMOTOR UND UNTERWASSERPUMPE

Fig. 1



(57) Abstract: The present invention relates to a synchronous reluctance motor for an underwater pump having a stator and a rotor which comprises a fluid barrier section for forming one or more magnetic pole pairs, wherein the airgap between the rotor (12) and the stator (11) is at least partially filled with a ferrofluid (20). A further partial aspect of the invention relates to an underwater pump with such a synchronous reluctance motor for driving the pump.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Synchron-Reluktanzmotor für eine Unterwasserpumpe mit einem Stator und einem Rotor,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/150061 A2

der einen Flussperrenschnitt zur Ausprägung ein oder mehrerer magnetischer Polpaare umfasst, wobei der Luftspalt zwischen Rotor (12) und Stator (11) zumindest teilweise mit einem Ferrofluid (20) gefüllt ist. Ein weiterer Teilaspekt der Erfindung betrifft eine Unterwasserpumpe mit einem derartigen Synchron-Reluktanzmotor zum Antrieb der Pumpe.

KSB Aktiengesellschaft
67227 Frankenthal

Beschreibung

5

Synchron-Reluktanzmotor und Unterwasserpumpe

10 Die Erfindung betrifft einen Synchron-Reluktanzmotor zum Antrieb einer Unterwasserpumpe mit einer Stator-Rotor-Anordnung, wobei der Rotor einen Flusssperrenschnitt zur Ausprägung ein oder mehrerer magnetischer Polpaare umfasst. Zudem betrifft die Erfindung eine Unterwasserpumpe mit einem derartigen Antriebsmotor.

15 Unterwassermotorpumpen dienen zur Förderung von flüssigen Medien in Bohrlöchern. Die Gehäuseaußenseite der Motoren wird vom Fördermedium, in der Regel Grundwasser, vollständig oder teilweise benetzt. Die verwendeten Pumpenantriebsmotoren sind gekapselt ausgeführt, um das Eindringen des Fördermediums in den Motorinnenraum zu verhindern.

20

Der Motorraum ist mit einem geeigneten flüssigen Medium befüllt, vorzugsweise mit einem Wasser-Glykol-Gemisch oder Öl, das sowohl den ungeschützten Rotor als auch im Falle eines ungeschützten Stators den Stator samt kunststoffisolierter Wickeldrähte oder im Falle eines geschützten Stators ein Spaltrohr benetzt. Das eingefüllte Medium

25 sorgt für eine ausreichende Kühlleistung des Motors.

Gleichzeitig sorgt das Medium für eine konstante Schmierung der hydrodynamischen Gleitlager und bietet unter Umständen eine wünschenswerte korrosionsschützende Wirkung der Aktivteile.

30

Gegenüber luftgefüllten Motorräumen verringert sich der erzielbare Wirkungsgrad und Leistungsfaktor derartiger Maschinen jedoch deutlich, da unter anderem aufgrund des

flüssigen Mediums im Motorraum die Reibleistung zwischen Rotor und Medium massiv zunimmt.

5 Unterwassermotorpumpenaggregate werden in passende Bohrlöcher im Bereich des Fördermediums installiert. Die Bohrkosten variieren in Abhängigkeit der Bohrtiefe und des notwendigen Bohrlochdurchmessers. Gerade Bohrlochtiefen von einigen hundert Metern verursachen enorme Kosten, denen beispielsweise durch eine Beschränkung des zulässigen Bohrlochdurchmessers Einhalt geboten wird.

10 Die Begrenzung des maximalen Durchmessers stellt jedoch hohe Anforderungen an die Entwicklung der Motoraggregate, da die physikalische Dimensionierung des Aggregats in der Regel dessen Wirkungsgrad und Leistungsfaktor maßgeblich mitbestimmt. Insbesondere muss der Motorquerschnitt an den gewünschten Bohrlochdurchmesser angepasst werden.

15 Um dennoch eine ausreichende Wellenleistung bereitstellen zu können, muss die Aktivteillänge des Motors entsprechend vergrößert werden. Die damit verbundene sehr schlanke Bauweise des Aggregats lässt das Verhältnis von Rotorlänge zum Rotordurchmesser anwachsen. Die Aktivteillänge des Rotors ist dabei mindestens doppelt so
20 groß wie der Rotordurchmesser. Aus fertigungstechnischen Gründen muss daher ein relativ großer Luftspalt realisiert werden, der deutlich größer als bei herkömmlichen Motoren ausfällt. Üblicherweise betragen die Luftspaltabmessungen von Unterwassermotoren mehr als das Doppelte der Luftspaltabmessungen von herkömmlichen Motoren.

25 Allerdings ist es gerade bei Aggregaten, die nach dem Reluktanzprinzip arbeiten, besonders wünschenswert, den Luftspalt so klein wie möglich zu halten. Die einsatzbedingte Motorkonstruktion bei Unterwassermotoren führt jedoch dazu, dass der Einsatz von Synchron-Reluktanzmotoren im Unterwasserpumpenbereich derzeit nur mit erheblichen Einbußen bei Wirkungsgrad und Leistungsfaktor realisierbar ist.

30 Aufgabe der Erfindung ist es somit, einen bekannten Synchron-Reluktanzmotor in der Art und Weise zu modifizieren, dass dieser auch in einer Unterwasserpumpe einsetzbar

ist, ohne jedoch nennenswerte Einbußen beim Wirkungsgrad und Leistungsfaktor in Kauf nehmen zu müssen.

5 Diese Aufgabe wird durch einen Synchron-Reluktanzmotor gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des dargestellten Synchron-Reluktanzmotors sind Gegenstand der sich an den Hauptanspruch anschließenden abhängigen Ansprüche.

10 Gemäß der Merkmalskombination des Anspruchs 1 wird ein Synchron-Reluktanzmotor vorgeschlagen, der einen Stator sowie einen mit dem Stator in Wirkverbindung stehenden Rotor aufweist. Der Rotor umfasst einen Flusssperrenschnitt zur Ausprägung ein oder mehrerer magnetischer Polpaare.

15 Ferner kann der Rotor der Synchron-Reluktanzmaschine vorzugsweise mit einem zylinderförmigen weichmagnetischen Element ausgestattet sein, das koaxial auf der Rotorachse angeordnet ist. Zur Ausbildung mindestens eines Polpaares bzw. Lückenpaares umfasst das weichmagnetische Element bevorzugt Flussleit- sowie Flusssperrabschnitte, die sich gegenseitig in einer unterschiedlich stark ausgeprägten magnetischen Permeabilität unterscheiden. Der Abschnitt mit großer magnetischer Leitfähigkeit wird als d-
20 Achse des Rotors und der Abschnitt mit vergleichsweise geringerer Leitfähigkeit als q-Achse des Rotors gekennzeichnet. Eine optimale Drehmomentausbeute stellt sich dann ein, wenn die d-Achse eine möglichst große magnetische Leitfähigkeit und die q-Achse eine möglichst niedrige magnetische Leitfähigkeit aufweist.

25 Diese Voraussetzung kann durch die Ausbildung von mehreren mit Luft gefüllten Aussparungen im weichmagnetischen Element entlang der q-Achse erreicht werden.

30 In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Rotors ist das weichmagnetische Element ein Blechpaket, das aus mehreren in axialer Richtung des Rotors aufeinandergestapelter Bleche aufgebaut ist. Diese Bauweise verhindert das Auftreten von Wirbelströmen im weichmagnetischen Element. Insbesondere bietet sich ein Auf-

bau des Blechpaketes gemäß der technischen Lehre der US 5,818,140 an, auf die in diesem Zusammenhang ausdrücklich Bezug genommen wird.

5 Aufgrund der eingangs erläuterten technischen Gegebenheiten bei Unterwassermotor-
pumpen existiert ein vergleichsweise großer Luftspalt zwischen Rotor- und Statorele-
ment. Eine den damit verbundenen Leistungs- und Wirkungseinbußen entgegenwirken-
de geometrische Verkleinerung des Luftspaltes scheidet aus den oben genannten
Gründen aus.

10 Erfindungsgemäß ist das bisher verwendete Füllmedium im Motorinnenraum durch ein
Ferrofluid ersetzt. Eine geeignete Wahl des verwendeten Ferrofluids führt zu einer rela-
tiven Permeabilität von $\mu_R > 1$. Die Vergrößerung der Permeabilität im Luftspalt ent-
spricht in ihrer Wirkung einer geometrischen Verringerung des magnetischen Luftspalts.
Der magnetisch wirksame Luftspalt ist entsprechend verkleinert. Je größer der Wert der
15 Permeabilität im Luftspalt ist, desto vorteilhafter gestaltet sich der Wirkungsgrad und
Leistungsfaktor des verwendeten Synchron-Reluktanzmotors. Die Wechselwirkung zwi-
schen Rotor und Stator wird verstärkt. Somit lassen sich gewisse Motorprinzipien auch
dort einsetzen, wo aufgrund der technischen Gegebenheiten ein vergleichsweise großer
Luftspalt Bedingung ist.

20 Die erfindungsgemäße Verwendung eines Ferrofluids erlaubt den Einsatz eines Syn-
chron-Reluktanzmotoren zum Antrieb einer Unterwasserpumpe mit einem zufriedenstel-
lenden Wirkungsgrad und Leistungsfaktor.

25 Gleichzeitig verbessert das verwendete Fluid die Wärmeabfuhr im Motorinnenraum.
Zudem werden hydrodynamische Gleitlager ständig geschmiert und das Ferrofluid kann
eine korrosionsschützende Wirkung auf die verwendeten Aktivteile des Synchron-
Reluktanzmotors haben.

30 Das Ferrofluid weist ein oder mehrere auf Magnetismus ansprechende Komponenten
auf, welche magnetisierbar und in der Regel superparamagnetisch sind.

Die magnetischen Komponenten können in unterschiedlicher Form in einer Trägerflüssigkeit vorliegen. Die Kombination aus Partikeln und Trägerflüssigkeit bildet das Ferrofluid.

- 5 Eine Möglichkeit besteht darin, dass die Komponenten als Partikel vorliegen, die in der Trägerflüssigkeit suspendiert sind. Idealerweise sind die einzelnen Partikel in der Trägerflüssigkeit kolloidal suspendiert.

10 Die Partikelgröße liegt im Nanobereich, vorzugsweise zwischen 1 nm und 10 nm, wobei sich insbesondere Partikelgrößen im Bereich zwischen 5 nm und 10 nm als günstig erweisen.

Ein oder mehrere Partikel bestehen in geeigneter Weise aus wenigstens einem der Stoffe Eisen, Magnetit, Kobalt oder einer speziellen Legierungen.

15 Die Partikel können mit einer Oberflächenbeschichtung, insbesondere einer polymeren Beschichtung versehen sein. Möglich ist die Beimengung einer oberflächenaktiven Substanz, die als monomolekulare Schicht an der Oberfläche der Partikel haftet. Die Radikale polarer Moleküle der oberflächenaktiven Substanz stoßen sich gegenseitig ab
20 und verhindern damit ein Verklumpen der Partikel.

Um die Reibleistung am Rotor in Grenzen zu halten, ist es zweckmäßig, ein niederviskoses Ferrofluid zu verwenden. Beispielsweise liegt die Viskosität des verwendeten Ferrofluids im Bereich der von Wasser, d. h. im Bereich von ca. 1mPa·s bei 20°C.

25 Der Einsatz des Ferrofluids bringt jedoch negative Begleiterscheinung mit sich, da die gesteigerte Permeabilität im Motorraum auch auftretende Streuverluste verstärkt. Anders als bei luftgefüllten Motoren wird die Ausbreitung der streuenden Feldlinien nicht mehr gehemmt sondern gefördert, weshalb die auftretenden Verluste erheblich zunehmen.
30

Um diesem Effekt entgegenzuwirken, können Mittel im Bereich wenigstens eines Wickelkopfes des Stators zur Verringerung der auftretenden Stirnsteuerung vorgesehen sein. Zweckmäßig werden ein oder mehrere Elemente in diesem Bereich angeordnet, um das Ferrofluid in diesem Bereich zu verdrängen. Geeignete Elemente sind ein oder mehrere Kunststoffkörper, die vorzugsweise passgenau um ein oder mehrere Wickelköpfe anbringbar bzw. auf diesen aufsteckbar sind. Alternative Mittel zur Verringerung der auftretenden Stirnstreuung ergeben sich durch ein Vergießen der Wickelköpfe oder ein Ausschäumen des Raumes um die Wickelköpfe. Grundsätzlich sind Materialien mit amagnetischen Eigenschaften geeignet.

Eine ähnliche Problematik besteht im Bereich der Nutschlitze des Statorkörpers. Auch hier können sich die Feldlinien auf Grund des Ferrofluids besser ausbreiten und höhere Verluste verursachen. Zweckmäßig werden Mittel im Bereich der Nutschlitze vorgeschlagen, die das Ferrofluid aus diesem Bereich verdrängen und die auftretende Streuverluste begrenzen. Besonders vorteilhaft sind Nutkeile, die in ein oder mehrere Nutschlitze eingesetzt werden.

Der Rotor der Synchron-Reluktanzmaschine besteht vorzugsweise aus einem laminierten Rotorpaket. Das Rotorpaket weist einzelne Flusssperrern zur Ausprägung ein oder mehrerer Polpaare auf. Flusssperrern werden in an sich bekannter Weise durch Aussparungen im Rotorpaket gebildet, die üblicherweise mit Luft befüllt sind. In diesem Fall besteht die Gefahr, dass das Ferrofluid in den Hohlraum der Flusssperrern gelangt. In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung ist der Rotor oder zumindest ein Teil des Rotors gekapselt ausgeführt, um den Rotorkörper gegenüber dem Ferrofluid abzudichten.

Alternativ oder zusätzlich können ein oder mehrere Flusssperrern separat abgedichtet und gegenüber einem unerwünschten Flüssigkeitseintritt geschützt sein. Möglich ist auch das Befüllen der Flusssperrern mit einem geeigneten Material, beispielsweise Kunststoff, um den Flüssigkeitseintritt zu unterbinden.

Die Erfindung betrifft des Weiteren eine Unterwasserpumpe mit einem die Pumpe antreibenden Synchron-Reluktanzmotor gemäß den Merkmalen des erfindungsgemäßen Motors bzw. einer vorteilhaften Ausführungsform des Synchron-Reluktanzmotors. Die Unterwasserpumpe weist offensichtlich dieselben Vorteile und Eigenschaften wie der erfindungsgemäße Synchron-Reluktanzmotor bzw. eine vorteilhafte Ausgestaltung des Motors auf, weshalb an dieser Stelle auf eine erneute Beschreibung verzichtet wird.

Weitere Vorteile und Eigenschaften der Erfindung ergeben sich aus dem in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiel. Es zeigen:

10

Figur 1: eine schematische Längsschnittdarstellung des erfindungsgemäßen Synchron-Reluktanzmotors,

15

Figur 2: eine schematische Querschnittsdarstellung des Rotors des erfindungsgemäßen Synchron-Reluktanzmotors und

Figur 3: einen Detailausschnitt des Stators des erfindungsgemäßen Synchron-Reluktanzmotors.

20 Der in Figur 1 dargestellte Synchron-Reluktanzmotor 10 weist einen üblichen Stator 11 und einem zum Stator 11 drehbar gelagerten Rotor 12 auf, der selbst koaxial auf der Welle 13 angeordnet ist. Der Rotorkörper besteht aus einem laminierten Paket, beispielsweise einem Blechpaket, wobei die einzelnen Schichten bzw. Bleche in axialer Richtung der Welle 13 gestapelt sind. Eine schematische Darstellung einer einzelnen Schicht ist der Figur 2 zu entnehmen.

25

Der Abstand zwischen der Rotor- und Statorwandung wird als Luftspalt bezeichnet. Erfindungsgemäß ist in der Figur 1 der Motorinnenraum mit einem Ferrofluid 20 gefüllt, wodurch die Permeabilität im Bereich zwischen Stator 11 und Rotor 12 erhöht und der vergleichsweise große geometrische Abstand kompensiert wird. Die Wechselwirkung zwischen Rotor 12 und Stator 11, d.h. die Reluktanzkraft, wird durch die erhöhte Permeabilität vergrößert.

30

Das verwendete Ferrofluid 20 besteht aus wenigen Nanometer großen magnetischen Partikeln, die in einer geeigneten Trägerflüssigkeit kolloidal suspendiert sind. Die viskosen Eigenschaften des verwendeten Ferrofluids 20 werden dabei so gewählt, dass die Reibleistung zwischen Rotor und Ferrofluid 20 möglichst gering ausfällt. Idealerweise weist das Ferrofluid 20 eine Viskosität in der Größenordnung der Viskosität von Wasser auf.

Auftretende Streuverluste im Bereich der Wickelköpfe 15 des Stators 11 sollen durch ein oder mehrere Kunststoffkörper 16 möglichst weitgehend reduziert werden. Der Kunststoffkörper wird auf dem entsprechenden Wickelkopf 15 angebracht und umgibt diesen zur vollständigen Verdrängung des Ferrofluids.

Zudem werden durch Nutkeile 30 die auftretenden Streuverluste im Nutschlitzbereich des Stators 11 verringert. Figur 3 zeigt eine Detailaufnahme eines Querschnitts durch das Statorpaket 11 mit Wickelraum 17. Im Bereich des Nutschlitzes ist ein Nutkeil 30 vorgesehen, der das Ferrofluid im Nutschlitz verdrängt, um einen magnetischen Kurzschluß zwischen den Statorzähnen zu unterbinden.

Figur 2 zeigt einen Querschnitt durch das Rotorpaket 12. Die Zeichnung stellt schematisch eine einzelne Fluss Sperre einer Rotorschicht 41 dar. Die ansonsten luftgefüllte Ausnehmung 40 der Rotorschicht 41 ist vollständig mit einem kunststoffartigen Material ausgefüllt bzw. ausgeschäumt, um einem möglichen Fluideintritt vorzubeugen.

Zusätzlich oder alternativ kann der vollständige Rotorkörper 12, wie in Figur 1 angedeutet, gekapselt ausgeführt sein. Beispielsweise ist die Rotoroberfläche vollständig mit einem geeigneten Material 50 beschichtet, um den Rotorkörper vor Flüssigkeitseintritt zu schützen.

Patentansprüche

Synchron-Reluktanzmotor und Unterwasserpumpe

5

1. Synchron-Reluktanzmotor zum Antrieb einer Unterwasserpumpe mit einem Stator und einem Rotor, der einen Flusssperrenschnitt zur Ausprägung ein oder mehrerer magnetischer Polpaare umfasst,

10

dadurch gekennzeichnet, dass

der Luftspalt zwischen Rotor (12) und Stator (11) zumindest teilweise mit einem Ferrofluid (20) gefüllt ist.

15

2. Synchron-Reluktanzmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Ferrofluid (20) eine Trägerflüssigkeit umfasst, die ein oder mehrere auf Magnetismus ansprechende Komponenten aufweist.

20

3. Synchron-Reluktanzmotor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der magnetischen Komponenten Partikel sind, die in der Trägerflüssigkeit kolloidal suspendiert sind.

25

4. Synchron-Motor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Partikelgröße im Nanobereich, vorzugsweise zwischen 1 und 10nm, insbesondere im Bereich zwischen 5 und 10nm liegt.

30

5. Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Viskosität des Ferrofluids (20) im Bereich von ca. 1mPa·s bei 20°C liegt.

6. Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Verringerung der Stirnstreuungen im Bereich des Statorwickelkopfes (15) vorgesehen sind.
- 5 7. Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel, insbesondere wenigstens ein Nutkeil (30), zur Verringerung der Nutstreuung des Stators (12) vorgesehen sind.
8. Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
10 gekennzeichnet, dass eine Kapselung des Rotors (11) vorgesehen ist.
9. Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Rotorflusssperren (40) abgedichtet
und/oder gefüllt sind.
15
10. Unterwasserpumpe mit einem die Pumpe antreibenden Synchron-Reluktanzmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Fig. 1

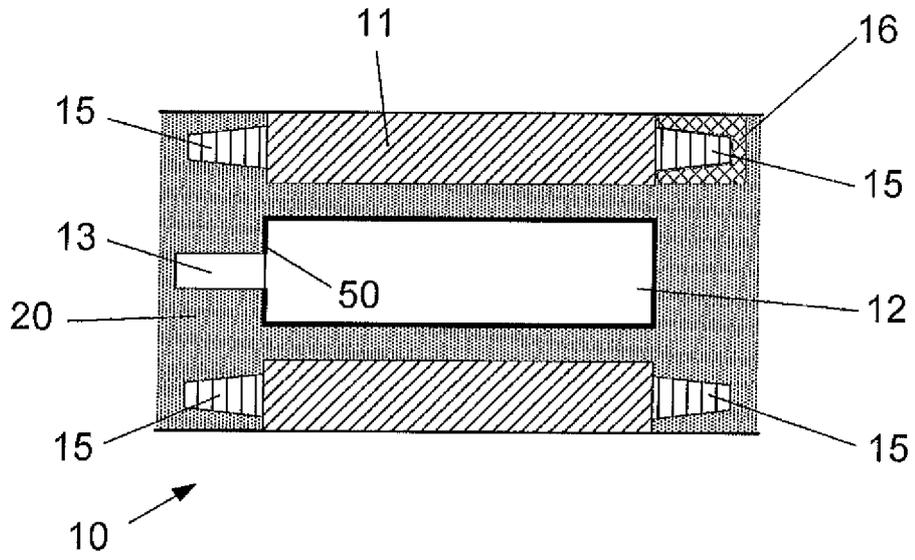


Fig. 2

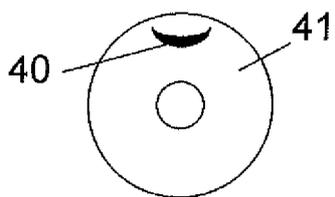


Fig. 3

