

(19)



(11)

EP 3 244 067 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
22.07.2020 Patentblatt 2020/30

(51) Int Cl.:
F04D 19/04^(2006.01) F04D 29/66^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16168947.6**

(22) Anmeldetag: **10.05.2016**

(54) **VAKUUMPUMPE UND VERFAHREN ZUM VERRINGERN EINER RESTUNWUCHT IN EINER VAKUUMPUMPE**

VACUUM PUMP AND METHOD FOR REDUCING A RESIDUAL IMBALANCE IN A VACUUM PUMP

POMPE À VIDE ET PROCÉDÉ DE RÉDUCTION D'UN BALOURD RESIDUEL DANS UNE POMPE À VIDE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
15.11.2017 Patentblatt 2017/46

(73) Patentinhaber: **PFEIFFER VACUUM GMBH
35614 Asslar (DE)**

(72) Erfinder: **Rippl, Andreas
35578 Wetzlar (DE)**

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald
Patent- und Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 1 619 778 EP-A2- 2 520 807
WO-A2-02/07289 DE-A1- 2 537 367
DE-A1- 3 340 909 DE-A1-102009 009 961**

EP 3 244 067 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, mit einer um eine Rotationsachse drehbaren Rotorwelle und einem Elektromotor, der einen an einem Gehäuse der Vakuumpumpe festgelegten Stator und einen mit der Rotorwelle gekoppelten Läufer umfasst, wobei der Stator und der Läufer zum rotierenden Antreiben der Rotorwelle vorgesehen sind. Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zum Verringern einer Restunwucht einer um eine Rotationsachse drehbaren Rotorwelle einer Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe.

[0002] Eine Vakuumpumpe der eingangs genannten Art ist grundsätzlich bekannt. Bei einer derartigen Vakuumpumpe wird die Rotorwelle normalerweise gewuchtet, bevor die Vakuumpumpe in Betrieb genommen wird, insbesondere um die Gefahr von Beschädigungen an der Rotorwelle und an den Lagern der Rotorwelle zu reduzieren. Normalerweise verbleibt nach dem Wuchten der Rotorwelle noch eine sogenannte Restunwucht, bei der es sich nach DIN ISO 1925:2001 um eine Unwucht jeglicher Art handelt, die nach dem Auswuchten zurückbleibt. Durch den Wuchtvorgang kann somit eine anfängliche Unwucht der Rotorwelle, bei der es sich gemäß der erwähnten Norm um eine Unwucht jeglicher Art handelt, die im Rotor vor dem Auswuchten vorhanden ist, auf eine verbleibende Restunwucht reduziert werden. Mit der Restunwucht kann die Vakuumpumpe normalerweise problemlos in Betrieb genommen werden kann. Die Restunwucht beruht insbesondere auf einem Massendefekt an der Rotorwelle, der als eine punktförmige Masse m im Abstand r von der Rotationsachse der Rotorwelle beschrieben werden kann. Dabei bewirkt die Restunwucht eine Kraft $F_{RU} = m \cdot r \cdot \omega^2$, wobei ω die Winkelgeschwindigkeit ist, mit der sich die Rotorwelle dreht. Durch die Restunwucht wird daher im Betrieb der Vakuumpumpe bei der Winkelgeschwindigkeit ω die Kraft F_{RU} auf die Rotorwelle erzeugt, die synchron mit der Rotorwelle umläuft und - bezogen auf die Rotationsachse der Rotorwelle - nach radial außen gerichtet ist.

[0003] Eine Vakuumpumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Wuchten eines Rotors einer Vakuumpumpe werden in der EP 2 881 591 A2 und in der EP 2 520 807 A2 offenbart.

[0004] Es kann wünschenswert sein, die Restunwucht in einer Vakuumpumpe weiter zu verringern, beispielsweise um die Lebensdauer der Rotorwelle und/oder deren Lager zu verlängern. Ein Verfahren zum Verbessern des Rundlaufs eines Rotors einer Vakuumpumpe ist in der WO 02/07289 A2 offenbart.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Restunwucht einer Rotorwelle einer Vakuumpumpe zu reduzieren.

[0006] Die Aufgabe wird durch eine Vakuumpumpe mit den Merkmalen des Anspruchs 1 beziehungsweise durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs

8 gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen und Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0007] Eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe umfasst eine um eine Rotationsachse drehbare Rotorwelle und einen Elektromotor mit einem an einem Gehäuse der Vakuumpumpe festgelegten Stator und einem mit der Rotorwelle gekoppelten Läufer, wobei der Stator und der Läufer zum rotierenden Antreiben der Rotorwelle vorgesehen sind, wobei der Elektromotor, und zwar dessen Stator, derart ausgebildet ist, dass dieser eine mit der Rotorwelle synchron umlaufende, insbesondere in radialer Richtung wirkende, Kraft auf die Rotorwelle, insbesondere auf den mit der Rotorwelle gekoppelten Läufer, bewirkt, wobei mittels der Kraft eine ebenfalls synchron umlaufende Restunwucht der Rotorwelle zumindest annähernd kompensiert werden kann.

[0008] Bei der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe kann somit während des Betriebs der Vakuumpumpe mittels des Elektromotors die nach dem Wuchten noch vorhandene Restunwucht bzw. die durch die Restunwucht hervorgerufene und synchron mit der Rotorwelle umlaufende Kraft F_{RU} durch die mittels des Elektromotors erzeugte Kraft zumindest annähernd kompensiert werden. Dadurch läuft die Rotorwelle noch weniger unwuchtig, wodurch die Lebensdauer der Rotorwelle und deren Lager erhöht werden kann.

[0009] Da der Elektromotor die Kraft zur Kompensierung der Restunwucht erzeugt, kann diese Kraft durch entsprechende Ansteuerung des Elektromotors an sich ändernde Gegebenheiten in der Vakuumpumpe angepasst werden. Eine erfindungsgemäße Vakuumpumpe weist somit, was den Unwuchtzustand angeht, über einen verhältnismäßig langen Betriebszeitraum die im Wesentlichen gleichen Eigenschaften auf, da zum Beispiel eine Zunahme der Restunwucht, beispielsweise verursacht durch einen Verschleiß in der Lagerung, zumindest bis zu einem gewissen Grad durch die vom Elektromotor erzeugte Kraft kompensiert werden kann. Außerdem kann erreicht werden, dass jede erfindungsgemäße Vakuumpumpe zumindest näherungsweise den gleichen Wuchtzustand und damit schwingungstechnisch den gleichen Zustand aufweist.

[0010] Der Läufer eines Elektromotors wird auch als Anker oder als Rotor des Elektromotors bezeichnet. Vorzugsweise kommt als Elektromotor ein sogenannter PM-Synchronmotor zum Einsatz, wobei PM für Permanentmagnet steht. Bei einem derartigen Elektromotor sind im Läufer Permanentmagnete angeordnet, welche die Läufer- bzw. rotorseitigen Magnetpole des Elektromotors bilden. Statorseitig werden die Magnetpole mittels Stromleiterwicklungen realisiert. PM-Synchronmotoren sind aus dem Stand der Technik bekannt.

[0011] Vorzugsweise weist die Vakuumpumpe wenigstens einen Sensor, insbesondere Beschleunigungssensor, zur Messung der Restunwucht der Rotorwelle auf. Die Restunwucht kann somit im Betrieb der Vakuumpumpe gemessen und der erhaltene Messwert kann

zum Beispiel zur Steuerung des Elektromotors verwendet werden.

[0012] Der wenigstens eine Sensor kann in einer Ebene angeordnet sein, welche durch den Stator des Elektromotors und zumindest im Wesentlichen senkrecht zur Rotorwelle verläuft. Die Restunwucht kann somit in einer durch den Stator des Elektromotors verlaufenden Wuchtebene erfasst und zumindest näherungsweise kompensiert werden.

[0013] Bevorzugt ist der Sensor am Läufer des Elektromotors angeordnet. Der Sensor kann alternativ etwas oberhalb oder unterhalb des Läufers an der Rotorwelle angeordnet sein. Die Restunwucht kann daher im Bereich des Elektromotors erfasst werden.

[0014] Der wenigstens eine Sensor kann auch im Bereich eines Lagers angeordnet sein, das zur Lagerung der Rotorwelle dient. Die Erfassung der Restunwucht im Bereich des Lagers hat den Vorteil, dass diese Restunwucht mittels des Elektromotors zumindest annähernd kompensiert werden kann. Dadurch kann besonders effektiv eine Beschädigung des Lagers durch die Restunwucht vermieden werden.

[0015] Erfindungsgemäß ist mittels einer Steuerung wenigstens ein Betriebsparameter des Elektromotors zum Einstellen der Kraft nach Betrag und/oder Phasenlage und/oder zum Einstellen der Umlaufgeschwindigkeit der Kraft um die Rotationsachse verstellbar. Durch richtiges Einstellen des wenigstens einen Betriebsparameters des Elektromotors kann somit die Kraft so erzeugt werden, dass sie synchron mit der Rotationsgeschwindigkeit der Rotorwelle und damit mit der Restunwucht um die Rotationsachse umläuft und dabei die Restunwucht zumindest annähernd kompensiert. Der Begriff "Phasenlage" bezieht sich hierbei auf die Richtung der Kraft in Bezug auf die Winkelstellung der Rotorwelle. Zur Kompensation der Restunwucht wird die Phasenlage der Kraft vorzugsweise so eingestellt, dass die Kraft der Restunwucht entgegengerichtet ist.

[0016] Beispielsweise kann mittels der Steuerung wenigstens ein Wechselstrom, der in den Elektromotor eingespeist wird, so eingestellt werden, dass das zwischen dem Stator und dem Läufer des Elektromotors erzeugte Magnetfeld eine resultierende magnetische Kraft auf den Läufer bewirkt, die synchron mit der Rotationsgeschwindigkeit der Rotorwelle und damit mit der Restunwucht um die Rotationsachse umläuft und dabei die Restunwucht zumindest annähernd kompensiert, also zumindest annähernd den Betrag der Restunwucht aufweist und dieser entgegengerichtet ist. Das Einstellen des Wechselstroms kann dabei umfassen: Einstellen der Amplitude, Einstellen der Frequenz und/oder Einstellen der Phase des Wechselstroms. Der Elektromotor und/oder eine Steuerung für den Elektromotor können dabei mit entsprechenden Mitteln zur Einstellung der Amplitude, Frequenz und Phase ausgestattet sein.

[0017] Die Steuerung kann dazu ausgebildet sein, in Abhängigkeit von einer Restunwucht der Rotorwelle den wenigstens einen Betriebsparameter des Elektromotors

iterativ zu verstellen, insbesondere solange, bis die Restunwucht ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, insbesondere einen minimalen Wert annimmt oder einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet. Somit kann, zum Beispiel unter Verwendung eines iterativen Verfahrens, der wenigstens eine Betriebsparameter des Elektromotors und damit die vom Elektromotor erzeugte Kraft solange verstellt werden, bis die gleichzeitig gemessene Restunwucht das Kriterium erfüllt.

[0018] Der Stator weist - in Umfangsrichtung des Stators gesehen - versetzt zueinander angeordnete Hilfswicklungen auf, und die Steuerung kann jede der Hilfswicklungen zur Erzeugung eines magnetischen Felds mit einem elektrischen Strom, insbesondere einem Wechselstrom, versorgen, um die Kraft zumindest im Wesentlichen durch die Wechselwirkung der von den Hilfswicklungen erzeugten magnetischen Felder mit dem Magnetfeld des Läufers des Elektromotors zu erzeugen. Es sind somit am Stator mehrere bestrombare Hilfswicklungen vorgesehen, mit denen jeweilige Magnetfelder erzeugt werden können, die mit dem läuferseitigen Magnetfeld zusammenwirken. Durch geeignete Einstellung der Ströme, insbesondere deren jeweiliger Amplitude, Phase und Frequenz, kann die gewünschte, die Restunwucht kompensierende Kraft auf den Läufer bzw. auf die Rotorwelle somit bewirkt werden.

[0019] Hierzu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Stator vier Hilfswicklungen aufweist, welche um zumindest annähernd 90 Grad in Umfangsrichtung versetzt zueinander angeordnet sind. Mittels einer derartigen Konfiguration kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand die gewünschte synchron mit der Restunwucht umlaufende Kraft zur Kompensation der Restunwucht erzeugt werden.

[0020] Jede Hilfswicklung kann auf einem am Stator vorgesehenen Polschuh angeordnet sein. Die Polschuhe können insbesondere als Träger für die Hilfswicklungen dienen.

[0021] Vorzugsweise ist die Steuerung dazu ausgebildet, die Ströme durch die Hilfswicklungen, insbesondere in Abhängigkeit von der jeweiligen Winkelstellung der Rotorwelle und/oder in Abhängigkeit von einer gemessenen Restunwucht, einzustellen, um die Kraft zur zumindest annähernden Kompensation der Restunwucht zu erzeugen.

[0022] Die Vakuumpumpe kann wenigstens einen Sensor zur Messung der Winkelstellung der Rotorwelle aufweisen. Damit kann während des Pumpenbetriebs die Winkelstellung der Rotorwelle permanent erfasst werden.

[0023] Bei der Vakuumpumpe handelt es sich vorzugsweise um eine Turbomolekularpumpe. Da die Rotorwelle einer Turbomolekularpumpe normalerweise mit einer sehr hohen Drehzahl betrieben wird, bspw. mit einer Drehzahl von einigen zehntausend Umdrehungen pro Minute, wird durch die zumindest annähernd kompensierte Restunwucht zum Beispiel zu einer Verlängerung der Lebensdauer der Vakuumpumpe beigetragen.

[0024] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Verringern einer Restunwucht einer um eine Rotationsachse drehbaren Rotorwelle einer Vakuumpumpe gemäß Anspruch 8.

[0025] Nachfolgend wird die Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen, jeweils schematisch:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht einer Turbomolekularpumpe,

Fig. 2 eine Ansicht der Unterseite der Turbomolekularpumpe von Fig. 1,

Fig. 3 einen Querschnitt der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie A-A,

Fig. 4 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie B-B,

Fig. 5 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe längs der in Fig. 2 gezeigten Schnittlinie C-C,

Fig. 6 eine Querschnittsansicht der Turbomolekularpumpe von Fig. 1 in einer durch den Elektromotor verlaufenden Schnittebene, und

Fig. 7 ein Blockdiagramm einer erfindungsgemäßen Vakuumpumpe.

[0026] Die in Fig. 1 gezeigte Turbomolekularpumpe 111 umfasst einen von einem Einlassflansch 113 umgebenen Pumpeneinlass 115, an welchen in an sich bekannter Weise ein nicht dargestellter Rezipient angeschlossen werden kann. Das Gas aus dem Rezipienten kann über den Pumpeneinlass 115 aus dem Rezipienten gesaugt und durch die Pumpe hindurch zu einem Pumpenauslass 117 gefördert werden, an den eine Vorvakuumpumpe, wie etwa eine Drehschieberpumpe, angeschlossen sein kann.

[0027] Der Einlassflansch 113 bildet bei der Ausrichtung der Vakuumpumpe gemäß Fig. 1 das obere Ende des Gehäuses 119 der Vakuumpumpe 111. Das Gehäuse 119 umfasst ein Unterteil 121, an welchem seitlich ein Elektronikgehäuse 123 angeordnet ist. In dem Elektronikgehäuse 123 sind elektrische und/oder elektronische Komponenten der Vakuumpumpe 111 untergebracht, z. B. zum Betreiben eines in der Vakuumpumpe angeordneten Elektromotors 125. Am Elektronikgehäuse 123 sind mehrere Anschlüsse 127 für Zubehör vorgesehen. Außerdem sind eine Datenschnittstelle 129, z.B. gemäß dem RS485-Standard, und ein Stromversorgungsanschluss 131 am Elektronikgehäuse 123 angeordnet.

[0028] Am Gehäuse 119 der Turbomolekularpumpe 111 ist ein Fluteinlass 133, insbesondere in Form eines

Flutventils, vorgesehen, über den die Vakuumpumpe 111 geflutet werden kann. Im Bereich des Unterteils 121 ist ferner noch ein Sperrgasanschluss 135, der auch als Spülgasanschluss bezeichnet wird, angeordnet, über welchen Spülgas zum Schutz des Elektromotors 125 (siehe z.B. Fig. 3) vor dem von der Pumpe geförderten Gas in den Motorraum 137, in welchem der Elektromotor 125 in der Vakuumpumpe 111 untergebracht ist, gebracht werden kann. Im Unterteil 121 sind ferner noch zwei Kühlmittelanschlüsse 139 angeordnet, wobei einer der Kühlmittelanschlüsse als Einlass und der andere Kühlmittelanschluss als Auslass für Kühlmittel vorgesehen ist, das zu Kühlzwecken in die Vakuumpumpe geleitet werden kann.

[0029] Die untere Seite 141 der Vakuumpumpe kann als Standfläche dienen, sodass die Vakuumpumpe 111 auf der Unterseite 141 stehend betrieben werden kann. Die Vakuumpumpe 111 kann aber auch über den Einlassflansch 113 an einem Rezipienten befestigt werden und somit gewissermaßen hängend betrieben werden. Außerdem kann die Vakuumpumpe 111 so gestaltet sein, dass sie auch in Betrieb genommen werden kann, wenn sie auf andere Weise ausgerichtet ist als in Fig. 1 gezeigt ist. Es lassen sich auch Ausführungsformen der Vakuumpumpe realisieren, bei der die Unterseite 141 nicht nach unten, sondern zur Seite gewandt oder nach oben gerichtet angeordnet werden kann.

[0030] An der Unterseite 141, die in Fig. 2 dargestellt ist, sind noch diverse Schrauben 143 angeordnet, mittels denen hier nicht weiter spezifizierte Bauteile der Vakuumpumpe aneinander befestigt sind. Beispielsweise ist ein Lagerdeckel 145 an der Unterseite 141 befestigt.

[0031] An der Unterseite 141 sind außerdem Befestigungsbohrungen 147 angeordnet, über welche die Pumpe 111 beispielsweise an einer Auflagefläche befestigt werden kann.

[0032] In den Figuren 2 bis 5 ist eine Kühlmittelleitung 148 dargestellt, in welcher das über die Kühlmittelanschlüsse 139 ein- und ausgeleitete Kühlmittel zirkulieren kann.

[0033] Wie die Schnittdarstellungen der Figuren 3 bis 5 zeigen, umfasst die Vakuumpumpe mehrere Prozessgaspumpstufen zur Förderung des an dem Pumpeneinlass 115 anstehenden Prozessgases zu dem Pumpenauslass 117.

[0034] In dem Gehäuse 119 ist ein Rotor 149 angeordnet, der eine um eine Rotationsachse 151 drehbare Rotorwelle 153 aufweist.

[0035] Die Turbomolekularpumpe 111 umfasst mehrere pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete turbomolekulare Pumpstufen mit mehreren an der Rotorwelle 153 befestigten radialen Rotorscheiben 155 und zwischen den Rotorscheiben 155 angeordneten und in dem Gehäuse 119 festgelegten Statorscheiben 157. Dabei bilden eine Rotorscheibe 155 und eine benachbarte Statorscheibe 157 jeweils eine turbomolekulare Pumpstufe. Die Statorscheiben 157 sind durch Abstandsringe 159 in einem gewünschten axialen Abstand zueinander

gehalten.

[0036] Die Vakuumpumpe umfasst außerdem in radialer Richtung ineinander angeordnete und pumpwirksam miteinander in Serie geschaltete Holweck-Pumpstufen. Der Rotor der Holweck-Pumpstufen umfasst eine an der Rotorwelle 153 angeordnete Rotornabe 161 und zwei an der Rotornabe 161 befestigte und von dieser getragene zylindermantelförmige Holweck-Rotorhülsen 163, 165, die koaxial zur Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung ineinander geschachtelt sind. Ferner sind zwei zylindermantelförmige Holweck-Statorhülsen 167, 169 vorgesehen, die ebenfalls koaxial zu der Rotationsachse 151 orientiert und in radialer Richtung gesehen ineinander geschachtelt sind.

[0037] Die pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Pumpstufen sind durch die Mantelflächen, also durch die radialen Innen- und/oder Außenflächen, der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 und der Holweck-Statorhülsen 167, 169 gebildet. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Statorhülse 167 liegt der radialen Außenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 171 gegenüber und bildet mit dieser die der Turbomolekularpumpen nachfolgende erste Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der äußeren Holweck-Rotorhülse 163 steht der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 173 gegenüber und bildet mit dieser eine zweite Holweck-Pumpstufe. Die radiale Innenfläche der inneren Holweck-Statorhülse 169 liegt der radialen Außenfläche der inneren Holweck-Rotorhülse 165 unter Ausbildung eines radialen Holweck-Spalts 175 gegenüber und bildet mit dieser die dritte Holweck-Pumpstufe.

[0038] Am unteren Ende der Holweck-Rotorhülse 163 kann ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der radial außenliegende Holweck-Spalt 171 mit dem mittleren Holweck-Spalt 173 verbunden ist. Außerdem kann am oberen Ende der inneren Holweck-Statorhülse 169 ein radial verlaufender Kanal vorgesehen sein, über den der mittlere Holweck-Spalt 173 mit dem radial innenliegenden Holweck-Spalt 175 verbunden ist. Dadurch werden die ineinander geschachtelten Holweck-Pumpstufen in Serie miteinander geschaltet. Am unteren Ende der radial innenliegenden Holweck-Rotorhülse 165 kann ferner ein Verbindungskanal 179 zum Auslass 117 vorgesehen sein.

[0039] Die vorstehend genannten pumpaktiven Oberflächen der Holweck-Statorhülsen 163, 165 weisen jeweils mehrere spiralförmig um die Rotationsachse 151 herum in axialer Richtung verlaufende Holweck-Nuten auf, während die gegenüberliegenden Mantelflächen der Holweck-Rotorhülsen 163, 165 glatt ausgebildet sind und das Gas zum Betrieb der Vakuumpumpe 111 in den Holweck-Nuten vorantreiben.

[0040] Zur drehbaren Lagerung der Rotorwelle 153 sind ein Wälzlager 181 im Bereich des Pumpenauslasses 117 und ein Permanentmagnetlager 183 im Bereich des Pumpeneinlasses 115 vorgesehen.

[0041] Im Bereich des Wälzlagers 181 ist an der Rotorwelle 153 eine konische Spritzmutter 185 mit einem zu dem Wälzlager 181 hin zunehmenden Außendurchmesser vorgesehen. Die Spritzmutter 185 steht mit mindestens einem Abstreifer eines Betriebsmittelspeichers in gleitendem Kontakt. Der Betriebsmittelspeicher umfasst mehrere aufeinander gestapelte saugfähige Scheiben 187, die mit einem Betriebsmittel für das Wälzlager 181, z.B. mit einem Schmiermittel, getränkt sind.

[0042] Im Betrieb der Vakuumpumpe 111 wird das Betriebsmittel durch kapillare Wirkung von dem Betriebsmittelspeicher über den Abstreifer auf die rotierende Spritzmutter 185 übertragen und in Folge der Zentrifugalkraft entlang der Spritzmutter 185 in Richtung des größeren werdenden Außendurchmessers der Spritzmutter 185 zu dem Wälzlager 181 hin gefördert, wo es z.B. eine schmierende Funktion erfüllt. Das Wälzlager 181 und der Betriebsmittelspeicher sind durch einen wannenförmigen Einsatz 189 und den Lagerdeckel 145 in der Vakuumpumpe eingefasst.

[0043] Das Permanentmagnetlager 183 umfasst eine rotorseitige Lagerhälfte 191 und eine statorseitige Lagerhälfte 193, welche jeweils einen Ringstapel aus mehreren in axialer Richtung aufeinander gestapelten permanentmagnetischen Ringen 195, 197 umfassen. Die Ringmagnete 195, 197 liegen einander unter Ausbildung eines radialen Lagerspalts 199 gegenüber, wobei die rotorseitigen Ringmagnete 195 radial außen und die statorseitigen Ringmagnete 197 radial innen angeordnet sind. Das in dem Lagerspalt 199 vorhandene magnetische Feld ruft magnetische Abstoßungskräfte zwischen den Ringmagneten 195, 197 hervor, welche eine radiale Lagerung der Rotorwelle 153 bewirken. Die rotorseitigen Ringmagnete 195 sind von einem Trägerabschnitt 201 der Rotorwelle 153 getragen, welcher die Ringmagnete 195 radial außenseitig umgibt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind von einem statorseitigen Trägerabschnitt 203 getragen, welcher sich durch die Ringmagnete 197 hindurch erstreckt und an radialen Streben 205 des Gehäuses 119 aufgehängt ist. Parallel zu der Rotationsachse 151 sind die rotorseitigen Ringmagnete 195 durch ein mit dem Trägerabschnitt 203 gekoppeltes Deckelelement 207 festgelegt. Die statorseitigen Ringmagnete 197 sind parallel zu der Rotationsachse 151 in der einen Richtung durch einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 209 sowie einen mit dem Trägerabschnitt 203 verbundenen Befestigungsring 211 festgelegt. Zwischen dem Befestigungsring 211 und den Ringmagneten 197 kann außerdem eine Tellerfeder 213 vorgesehen sein.

[0044] Innerhalb des Magnetlagers ist ein Not- bzw. Fanglager 215 vorgesehen, welches im normalen Betrieb der Vakuumpumpe 111 ohne Berührung leer läuft und erst bei einer übermäßigen radialen Auslenkung des Rotors 149 relativ zu dem Stator in Eingriff gelangt, um einen radialen Anschlag für den Rotor 149 zu bilden, da eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen verhindert wird. Das Fanglager 215

ist als ungeschmiertes Wälzlager ausgebildet und bildet mit dem Rotor 149 und/oder dem Stator einen radialen Spalt, welcher bewirkt, dass das Fanglager 215 im normalen Pumpbetrieb außer Eingriff ist. Die radiale Auslenkung, bei der das Fanglager 215 in Eingriff gelangt, ist groß genug bemessen, sodass das Fanglager 215 im normalen Betrieb der Vakuumpumpe nicht in Eingriff gelangt, und gleichzeitig klein genug, sodass eine Kollision der rotorseitigen Strukturen mit den statorseitigen Strukturen unter allen Umständen verhindert wird.

[0045] Die Vakuumpumpe 111 umfasst den Elektromotor 125 zum drehenden Antreiben des Rotors 149. Der Anker des Elektromotors 125 ist durch den Rotor 149 gebildet, dessen Rotorwelle 153 sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckt. Auf den sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt der Rotorwelle 153 kann radial außenseitig oder eingebettet eine Permanentmagnetanordnung angeordnet sein. Zwischen dem Motorstator 217 und dem sich durch den Motorstator 217 hindurch erstreckenden Abschnitt des Rotors 149 ist ein Zwischenraum 219 angeordnet, welcher einen radialen Motorspalt umfasst, über den sich der Motorstator 217 und die Permanentmagnetanordnung zur Übertragung des Antriebsmoments magnetisch beeinflussen können.

[0046] Der Motorstator 217 ist in dem Gehäuse innerhalb des für den Elektromotor 125 vorgesehenen Motorraums 137 festgelegt. Über den Sperrgasanschluss 135 kann ein Sperrgas, das auch als Spülgas bezeichnet wird, und bei dem es sich beispielsweise um Luft oder um Stickstoff handeln kann, in den Motorraum 137 gelangen. Über das Sperrgas kann der Elektromotor 125 vor Prozessgas, z.B. vor korrosiv wirkenden Anteilen des Prozessgases, geschützt werden. Der Motorraum 137 kann auch über den Pumpenauslass 117 evakuiert werden, d.h. im Motorraum 137 herrscht zumindest annäherungsweise der von der am Pumpenauslass 117 angeschlossenen Vorvakuumpumpe bewirkte Vakuumdruck.

[0047] Zwischen der Rotornabe 161 und einer den Motorraum 137 begrenzenden Wandung 221 kann außerdem eine sog. und an sich bekannte Labyrinthdichtung 223 vorgesehen sein, insbesondere um eine bessere Abdichtung des Motorraums 217 gegenüber den radial außerhalb liegenden Holweck-Pumpstufen zu erreichen.

[0048] Fig. 6 zeigt eine Querschnittsansicht in einer durch den Elektromotor 125 verlaufenden Schnittebene, die außerdem senkrecht zur Rotorwelle 153 verläuft. Die Rotorwelle 153 erstreckt sich durch den Elektromotor 125 hindurch. Wie vorstehend bereits erwähnt wurde, wird der Anker bzw. Läufer des Elektromotors 125 durch die Rotorwelle 153 gebildet. Der Abschnitt der Rotorwelle 153, der sich durch den Stator 217 des Elektromotors 125 hindurch erstreckt, weist radial außenseitig oder eingebettet Permanentmagnete auf, welche die läuferseitigen Magnetpole des Elektromotors 125 bilden, was in Fig. 6 durch den angedeuteten Nordpol N und den angedeuteten Südpol P gezeigt ist. Normalerweise bestehen die läuferseitigen Magnetpole nicht aus einem ein-

zigen Paar eines Nord- und Südpols, sondern aus mehreren Polpaaren.

[0049] Auf Seiten des Motorstators 217 sind vier Hilfswicklungen 11 auf am Stator 217 vorgesehenen Polschuh 13 angeordnet. Die Hilfswicklungen 11 sind dabei in Umfangsrichtung U des Stators 217 gesehen um 90 Grad versetzt zueinander angeordnet. Wie das Blockdiagramm der Fig. 7 zeigt, umfasst die Turbomolekularpumpe noch eine Steuerung 15 zur Ansteuerung des Elektromotors 125, die beispielsweise in dem in Fig. 1 gezeigten Elektronikgehäuse 123 untergebracht ist.

[0050] Die Steuerung 15 kann jede der Hilfswicklungen 11 mit einem Wechselstrom versorgen, dessen Amplitude, Phase und/oder Frequenz von der Steuerung 15 eingestellt werden kann. Wenn durch die Hilfswicklungen 11 ein jeweiliger Wechselstrom strömt, wird in an sich bekannter Weise von jeder Hilfswicklung 11 ein magnetisches Feld generiert, das mit dem läuferseitigen Magnetfeld der Permanentmagnete wechselwirkt. Jedes von einer Hilfswicklung 11 erzeugte Magnetfeld ist dabei vom Strom, der durch die jeweilige Hilfswicklung 11 strömt, abhängig und kann somit durch Änderung der Amplitude, Phase und/oder Frequenz des Stromes verändert werden. Durch die Wechselwirkung zwischen den von den Hilfswicklungen 11 erzeugten Magnetfeldern mit dem läuferseitigen Magnetfeld kann eine Kraft auf den Läufer bzw. auf die Rotorwelle 153 erzeugt werden. Die erzeugte Kraft ist nach Betrag und Richtung sowie was ihre Umlaufgeschwindigkeit angeht abhängig von den von den Hilfswicklungen 11 erzeugten Magnetfeldern. Damit ist die erzeugte Kraft auch abhängig von den jeweiligen Strömen durch die Hilfswicklungen 11.

[0051] Die Steuerung 15 ist nun derart ausgebildet, dass sie in Abhängigkeit von einer Restunwucht der Rotorwelle 153, die mittels wenigstens eines Sensors 17 gemessen wird, die elektrischen Ströme durch die Hilfswicklungen 11 derart einstellt, dass die erzeugte Kraft synchron mit der Rotorwelle 153 und damit synchron mit der Restunwucht umläuft und die Restunwucht wenigstens näherungsweise kompensiert. Die Restunwucht kann somit mittels des Elektromotors 125 reduziert bzw. im Idealfall beseitigt werden.

[0052] Zur Einstellung der Ströme durch die Hilfswicklungen 11 kommt ein iteratives Verfahren zum Einsatz. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung dieses Verfahrens wird die Umlaufgeschwindigkeit der Rotorwelle 153 und damit der Restunwucht ermittelt, zum Beispiel mittels eines in der Vakuumpumpe 111 angebrachten Sensors (nicht gezeigt). Die Frequenz der Wechselströme durch die Hilfswicklungen 11 wird sodann derart eingestellt, dass erfindungsgemäß die erzeugte Kraft mit der Umlaufgeschwindigkeit um die Rotationsachse 151 umläuft. Ferner wird die Restunwucht mittels des wenigstens einen Sensors 17 ermittelt, und zwar bevorzugt als Funktion der Winkelstellung der Rotorwelle 153, die bspw. mittels eines ebenfalls nicht gezeigten Winkelstellungssensors gemessen wird. Ein Startwert der Amplitude und ein Startwert der Phase werden individuell für jeden

Strom durch die Hilfswicklungen 11 so eingestellt, dass die erzeugte Kraft näherungsweise die Restunwucht kompensiert. Die Startwerte können dabei aus empirisch gewonnenen Daten bestimmt werden. Die Startwerte werden sodann iterativ verändert, und zwar bevorzugt solange, bis die gemessene Restunwucht ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, zum Beispiel unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwertes liegt oder ein Minimum einnimmt.

Bezugszeichenliste

[0053]

11	Hilfswicklung
13	Polschuh
15	Steuerung
17	Sensor
111	Turbomolekularpumpe
113	Einlassflansch
115	Pumpeneinlass
117	Pumpenauslass
119	Gehäuse
121	Unterteil
123	Elektronikgehäuse
125	Elektromotor
127	Zubehöranschluss
129	Datenschnittstelle
131	Stromversorgungsanschluss
133	Fluteinlass
135	Sperrgasanschluss
137	Motorraum
139	Kühlmittelanschluss
141	Unterseite
143	Schraube
145	Lagerdeckel
147	Befestigungsbohrung
148	Kühlmittleitung
149	Rotor
151	Rotationsachse
153	Rotorwelle
155	Rotorscheibe
157	Statorscheibe
159	Abstandsring
161	Rotornabe
163	Holweck-Rotorhülse
165	Holweck-Rotorhülse
167	Holweck-Statorhülse
169	Holweck-Statorhülse
171	Holweck-Spalt
173	Holweck-Spalt
175	Holweck-Spalt
179	Verbindungskanal
181	Wälzlager
183	Permanentmagnetlager
185	Spritzmutter
187	Scheibe
189	Einsatz

191	rotorseitige Lagerhälfte
193	statorseitige Lagerhälfte
195	Ringmagnet
197	Ringmagnet
5 199	Lagerspalt
201	Trägerabschnitt
203	Trägerabschnitt
205	radiale Strebe
207	Deckelelement
10 209	Stützring
211	Befestigungsring
213	Tellerfeder
215	Not- bzw. Fanglager
217	Motorstator
15 219	Zwischenraum
221	Wandung
223	Labyrinthdichtung
N	Norpol
S	Südpol
20 U	Umfangsrichtung

Patentansprüche

- 25 1. Vakuumpumpe, insbesondere Turbomolekularpumpe, umfassend
eine um eine Rotationsachse (151) drehbare Rotorwelle (153), und
einen Elektromotor (125) mit einem an einem Gehäuse (119) der Vakuumpumpe (111) festgelegten Stator (217) und einem mit der Rotorwelle (153) gekoppelten Läufer, wobei der Stator (217) und der Läufer zum rotierenden Antreiben der Rotorwelle (153) vorgesehen sind,
30 **dadurch gekennzeichnet, dass**
der Elektromotor (125), und zwar dessen Stator (217), derart ausgebildet ist, dass dieser eine mit der Rotorwelle (153) synchron umlaufende, insbesondere in radialer Richtung wirkende, Kraft auf die Rotorwelle (153), insbesondere auf den mit der Rotorwelle (153) gekoppelten Läufer, bewirkt, wobei mittels der Kraft eine ebenfalls synchron umlaufende Restunwucht der Rotorwelle (153) zumindest annähernd kompensiert werden kann, und wobei mittels
35 einer Steuerung (15) wenigstens ein Betriebsparameter des Elektromotors (125) zum Einstellen der Kraft nach Betrag und/oder Phasenlage und/oder zum Einstellen der Umlaufgeschwindigkeit der Kraft um die Rotationsachse (151) verstellbar ist, der Stator (217) in Umfangsrichtung (U) des Stators (217) gesehen versetzt zueinander angeordnete Hilfswicklungen (11) aufweist, die Steuerung (15) jede der Hilfswicklungen (11) zur Erzeugung eines magnetischen Felds mit einem elektrischen Strom versorgen kann, um die Kraft zumindest im Wesentlichen durch Wechselwirkung der von den Hilfswicklungen (11) erzeugten magnetischen Felder mit dem Magnetfeld des Läufers des Elektromotors (125) zu
40
45
50
55

- erzeugen, und der Stator (217) vier Hilfswicklungen (11) aufweist, welche um zumindest annähernd 90 Grad in Umfangsrichtung (U) versetzt zueinander angeordnet sind.
2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese wenigstens einen Sensor (17), insbesondere Beschleunigungssensor, zur Messung der Restunwucht der Rotorwelle (153) aufweist.
3. Vakuumpumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (17) in einer Ebene angeordnet ist, welche durch den Stator (217) des Elektromotors (125) und zumindest im Wesentlichen senkrecht zur Rotorwelle (153) verläuft, wobei, bevorzugt, der Sensor (17) am Läufer des Elektromotors (125) angeordnet ist.
4. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (15) dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von einer Restunwucht der Rotorwelle (153) den wenigstens einen Betriebsparameter iterativ zu verstellen, insbesondere solange bis die Restunwucht ein bestimmtes Kriterium erfüllt, insbesondere einen minimalen Wert annimmt oder einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet.
5. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede Hilfswicklung (11) auf einem am Stator (217) vorgesehenen Polschuh (13) angeordnet ist.
6. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerung (15) dazu ausgebildet ist, die elektrischen Ströme durch die Hilfswicklungen (11), insbesondere in Abhängigkeit von der jeweiligen Winkelstellung der Rotorwelle (153) und/oder in Abhängigkeit von einer gemessenen Restunwucht, einzustellen, um die Kraft zur zumindest annähernden Kompensation der Restunwucht zu erzeugen.
7. Vakuumpumpe nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** diese einen Sensor zur Messung der Winkelstellung der Rotorwelle (153) aufweist.
8. Verfahren zum Verringern einer Restunwucht einer um eine Rotationsachse (151) drehbaren Rotorwelle (153) einer Vakuumpumpe (111), insbesondere Turbomolekularpumpe, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vakuumpumpe (111) einen Elektromotor (125) mit einem an einem Gehäuse (119) der Vakuumpumpe (111) festgelegten Stator (217) und einem mit der Rotorwelle (153) gekoppelten Läufer zum Antreiben der Rotorwelle (153) aufweist, und wobei bei dem Verfahren die Rotorwelle (153) derart angetrieben wird, dass sie zumindest im Wesentlichen mit einer konstanten Drehzahl rotiert, eine Restunwucht der Rotorwelle (153) gemessen wird, und der Elektromotor (125), und zwar dessen Stator (217), derart angesteuert wird, dass dieser eine mit der Rotorwelle (153) synchron umlaufende, insbesondere in radialer Richtung wirkende, Kraft auf die Rotorwelle (153), insbesondere auf den mit der Rotorwelle (153) gekoppelten Läufer, erzeugt, welche die ebenfalls synchron umlaufende Restunwucht zumindest annähernd kompensiert, der Stator (217) in Umfangsrichtung (U) des Stators (217) gesehen versetzt zueinander angeordnete Hilfswicklungen (11) aufweist, die zur Erzeugung eines jeweiligen magnetischen Felds mit einem elektrischen Strom versorgt werden, um die Kraft zumindest im Wesentlichen durch Wechselwirkung der von den Hilfswicklungen (11) erzeugten magnetischen Felder mit dem Magnetfeld des Läufers des Elektromotors (125) zu erzeugen, wobei der elektrische Strom durch jede der Hilfswicklungen (11) derart eingestellt wird, dass die erzeugte Kraft synchron mit der Rotorwelle (153) umläuft und die ebenfalls synchron umlaufende Restunwucht zumindest annähernd kompensiert, und die Einstellung wenigstens eines elektrischen Stromes iterativ erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Restunwucht in einer Ebene gemessen wird, die durch den Stator (217) des Elektromotors (125) verläuft und die sich senkrecht zur Rotationsachse (151) erstreckt.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** durch Verstellen wenigstens eines Betriebsparameters des Elektromotors (125) die Kraft in Bezug auf ihren Betrag und/oder ihre Phasenlage, insbesondere iterativ, solange verstellt wird, bis die Restunwucht ein bestimmtes Kriterium erfüllt, insbesondere ein Minimum einnimmt oder unterhalb einen vorgegebenen Schwellenwert unterschreitet.

Claims

1. A vacuum pump, in particular a turbomolecular pump, comprising a rotor shaft (153) rotatable about an axis of rotation (151); and
an electric motor (125) having a stator (217) fixed to a housing (119) of the vacuum pump (111) and having a rotor coupled to the rotor shaft (153), wherein the stator (217) and the rotor are provided for a rotating driving of the rotor shaft (153),
characterized in that
the electric motor (125), and indeed its stator (217), is configured such that it brings about a force on the rotor shaft (153), in particular on the rotor coupled to the rotor shaft (153), said force revolving synchronously with the rotor shaft (153) and in particular acting in the radial direction, with a residual imbalance of the rotor shaft (153) which likewise revolves synchronously being able to be at least approximately compensated by means of the force, and with at least one operating parameter of the electric motor (125) for setting the force by magnitude and/or phasing and/or for setting the revolution speed of the force about the axis of rotation (151) being adjustable by means of a control (15), with the stator having auxiliary windings (11) arranged offset from one another, viewed in the peripheral direction (U) of the stator (217), with the control (15) being able to supply each of the auxiliary windings (11) with an electric current to produce a magnetic field in order to produce the force at least substantially through an interaction of the magnetic fields produced by the auxiliary windings (11) with the magnetic field of the rotor of the electric motor (125), and with the stator (217) having four auxiliary windings (11) which are arranged offset from one another by at least approximately 90 degrees in the peripheral direction (U).
2. A vacuum pump in accordance with claim 1,
characterized in that
it has at least one sensor (17), in particular an acceleration sensor, for measuring the residual imbalance of the rotor shaft (153).
3. A vacuum pump in accordance with claim 2,
characterized in that
the sensor (17) is arranged in a plane which extends through the stator (217) of the electric motor (125) and at least substantially perpendicular to the rotor shaft (153), with, preferably, the sensor (17) being arranged at the rotor of the electric motor (125).
4. A vacuum pump in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
the control (15) is configured to iteratively adjust the at least one operating parameter in dependence on a residual imbalance of the rotor shaft (153), in particular for so long until the residual imbalance satisfies a specific criterion, in particular adopts a minimum value or falls below a predefined threshold value.
5. A vacuum pump in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
each auxiliary winding (11) is arranged on a pole shoe (13) provided at the stator (217).
6. A vacuum pump in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
the control (15) is configured to set the electric currents through the auxiliary windings (11), in particular in dependence on the respective angular position of the rotor shaft (153) and/or in dependence on a measured residual imbalance, in order to produce the force for an at least approximate compensation of the residual imbalance.
7. A vacuum pump in accordance with at least one of the preceding claims,
characterized in that
it has a sensor for measuring the angular position of the rotor shaft (153).
8. A method of reducing a residual imbalance of a rotor shaft (153), rotatable about an axis of rotation (151), of a vacuum pump (111), in particular of a turbomolecular pump, in particular in accordance with any one of the preceding claims,
wherein the vacuum pump (111) has an electric motor (125) having a stator (217) fixed to a housing (119) of the vacuum pump (111) and having a rotor coupled to the rotor shaft (153) for driving the rotor shaft (153); and wherein, in the method,

the rotor shaft (153) is driven such that it rotates at least substantially at a constant speed of rotation;
a residual imbalance of the rotor shaft (153) is measured; and
the electric motor (125), and indeed its stator (217), is driven such that it produces a force on the rotor shaft (153), in particular on the rotor coupled to the rotor shaft (153), said force revolving synchronously with the rotor shaft (153), in particular acting in the radial direction and at least approximately compensating the residual imbalance which likewise revolves synchronously;
wherein the stator (217) has auxiliary windings (11) which are arranged offset from one another, viewed in the peripheral direction (U) of the stator (217), and which are supplied with an electric

current to produce a respective magnetic field in order to produce the force at least substantially through the interaction of the magnetic fields produced by the auxiliary windings (11) with the magnetic field of the rotor of the electric motor (125); and

wherein the electric current through each of the auxiliary windings (11) is set such that the force produced revolves synchronously with the rotor shaft (153) and at least approximately compensates the residual imbalance which likewise revolves synchronously and the setting of at least one electric current takes place iteratively.

9. A method in accordance with claim 8, **characterized in that** the residual imbalance is measured in a plane which extends through the stator (217) of the electric motor (125) and which extends perpendicular to the axis of rotation (151).

10. A method in accordance with claim 8 or claim 9, **characterized in that**, by adjusting at least one operating parameter of the electric motor (125), the force is adjusted, in particular iteratively adjusted, with respect to its magnitude and/or its phasing for so long until the residual imbalance satisfies a specific criterion, in particular adopts a minimum or falls below a predefined threshold value.

Revendications

1. Pompe à vide, en particulier pompe turbomoléculaire, comportant un arbre de rotor (153) mobile en rotation autour d'un axe de rotation (151) et un moteur électrique (125) pourvu d'un stator (217) immobilisé sur un boîtier (119) de la pompe à vide (111) et d'un rotor couplé à l'arbre de rotor (153), le stator (217) et le rotor étant prévus pour l'entraînement en rotation de l'arbre de rotor (153), **caractérisée en ce que** le moteur électrique (125), à savoir son stator (217), est réalisé de telle sorte qu'il exerce sur l'arbre de rotor (153), en particulier sur le rotor couplé à l'arbre de rotor (153), une force qui tourne de manière synchrone avec l'arbre de rotor (153) et qui agit en particulier dans la direction radiale, un balourd résiduel de l'arbre de rotor (153) tournant également de manière synchrone pouvant être compensé au moins approximativement par ladite force, et au moins un paramètre de fonctionnement du moteur électrique (125) pouvant être ajusté au moyen d'une commande (15) afin de régler ladite force selon l'amplitude et/ou selon la position de phase et de régler la vitesse de rotation de la force autour de l'axe de rotation (151),

le stator (217) comporte des enroulements auxiliaires (11) disposés de manière décalée les uns par rapport aux autres, vus dans la direction circonférentielle (U) du stator (217),

la commande (15) peut alimenter chacun des enroulements auxiliaires (11) avec un courant électrique pour générer un champ magnétique afin de générer la force au moins sensiblement par l'interaction des champs magnétiques générés par les enroulements auxiliaires (11) avec le champ magnétique du rotor du moteur électrique (125), et

le stator (217) comporte quatre enroulements auxiliaires (11) qui sont disposés de manière décalée les uns par rapport aux autres d'au moins environ 90 degrés dans la direction circonférentielle (U).

2. Pompe à vide selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** celle-ci comprend au moins un capteur (17), en particulier un capteur d'accélération, pour mesurer le balourd résiduel de l'arbre de rotor (153).
3. Pompe à vide selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** le capteur (17) est disposé dans un plan qui passe par le stator (217) du moteur électrique (125) et qui est au moins sensiblement perpendiculaire à l'arbre de rotor (153), le capteur (17) étant de préférence disposé sur le rotor du moteur électrique (125).
4. Pompe à vide selon l'une au moins des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la commande (15) est réalisée pour ajuster itérativement ledit au moins un paramètre de fonctionnement en fonction d'un balourd résiduel de l'arbre de rotor (153), en particulier jusqu'à ce que le balourd résiduel réponde à un critère déterminé, en particulier jusqu'à ce qu'il prenne une valeur minimale ou tombe en dessous d'une valeur seuil prédéterminée.
5. Pompe à vide selon l'une au moins des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** chaque enroulement auxiliaire (11) est disposé sur une pièce polaire (13) prévue sur le stator (217).
6. Pompe à vide selon l'une au moins des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la commande (15) est réalisée pour régler les courants électriques à travers les enroulements auxiliaires (11) en particulier en fonction de la position angulaire respective de l'arbre de rotor (153) et/ou en fonction d'un balourd résiduel mesuré, afin de générer la force pour compenser au moins approximativement le balourd résiduel.

7. Pompe à vide selon l'une au moins des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
celle-ci comprend un capteur pour mesurer la position angulaire de l'arbre de rotor (153). 5
8. Procédé pour réduire un balourd résiduel d'un arbre de rotor (153), mobile en rotation autour d'un axe de rotation (151), d'une pompe à vide (111), en particulier d'une pompe turbomoléculaire, en particulier selon l'une des revendications précédentes, dans lequel
la pompe à vide (111) comprend un moteur électrique (125) pourvu d'un stator (217) immobilisé sur un boîtier (119) de la pompe à vide (111) et d'un rotor couplé à l'arbre de rotor (153) pour entraîner l'arbre de rotor (153), procédé dans lequel
l'arbre de rotor (153) est entraîné de telle sorte qu'il tourne au moins sensiblement à une vitesse de rotation constante, 10 20
un balourd résiduel de l'arbre de rotor (153) est mesuré, et
le moteur électrique (125), à savoir son stator (217), est piloté de telle sorte qu'il exerce sur l'arbre de rotor (153), en particulier sur le rotor couplé à l'arbre de rotor (153), une force qui tourne de manière synchrone avec l'arbre de rotor (153) et qui agit en particulier dans la direction radiale, le balourd résiduel tournant également de manière synchrone étant compensé au moins approximativement par ladite force, 25 30
le stator (217) comporte des enroulements auxiliaires (11) disposés de manière décalée les uns par rapport aux autres, vus dans la direction circonférentielle (U) du stator (217), qui sont alimentés chacun avec un courant électrique pour générer un champ magnétique respectif, afin de générer ladite force au moins sensiblement par l'interaction des champs magnétiques générés par les enroulements auxiliaires (11) avec le champ magnétique du rotor du moteur électrique (125), 35 40
le courant électrique est réglé par chacun des enroulements auxiliaires (11) de telle sorte que la force générée tourne de façon synchrone avec l'arbre de rotor (153) et que le balourd résiduel tournant également de façon synchrone est au moins approximativement compensé, 45
et le réglage dudit au moins un courant électrique s'effectue de façon itérative. 50
9. Procédé selon la revendication 8,
caractérisé en ce que
le balourd résiduel est mesuré dans un plan qui passe par le stator (217) du moteur électrique (125) et qui s'étend perpendiculairement à l'axe de rotation (151). 55
10. Procédé selon la revendication 8 ou 9,

caractérisé en ce que

par ajustement d'au moins un paramètre de fonctionnement du moteur électrique (125), la force est réglée quant à son amplitude et/ou à sa position de phase, en particulier de façon itérative, jusqu'à ce que le balourd résiduel réponde à un critère déterminé, en particulier jusqu'à ce qu'il prenne une valeur minimale ou tombe en dessous d'une valeur seuil prédéterminée.

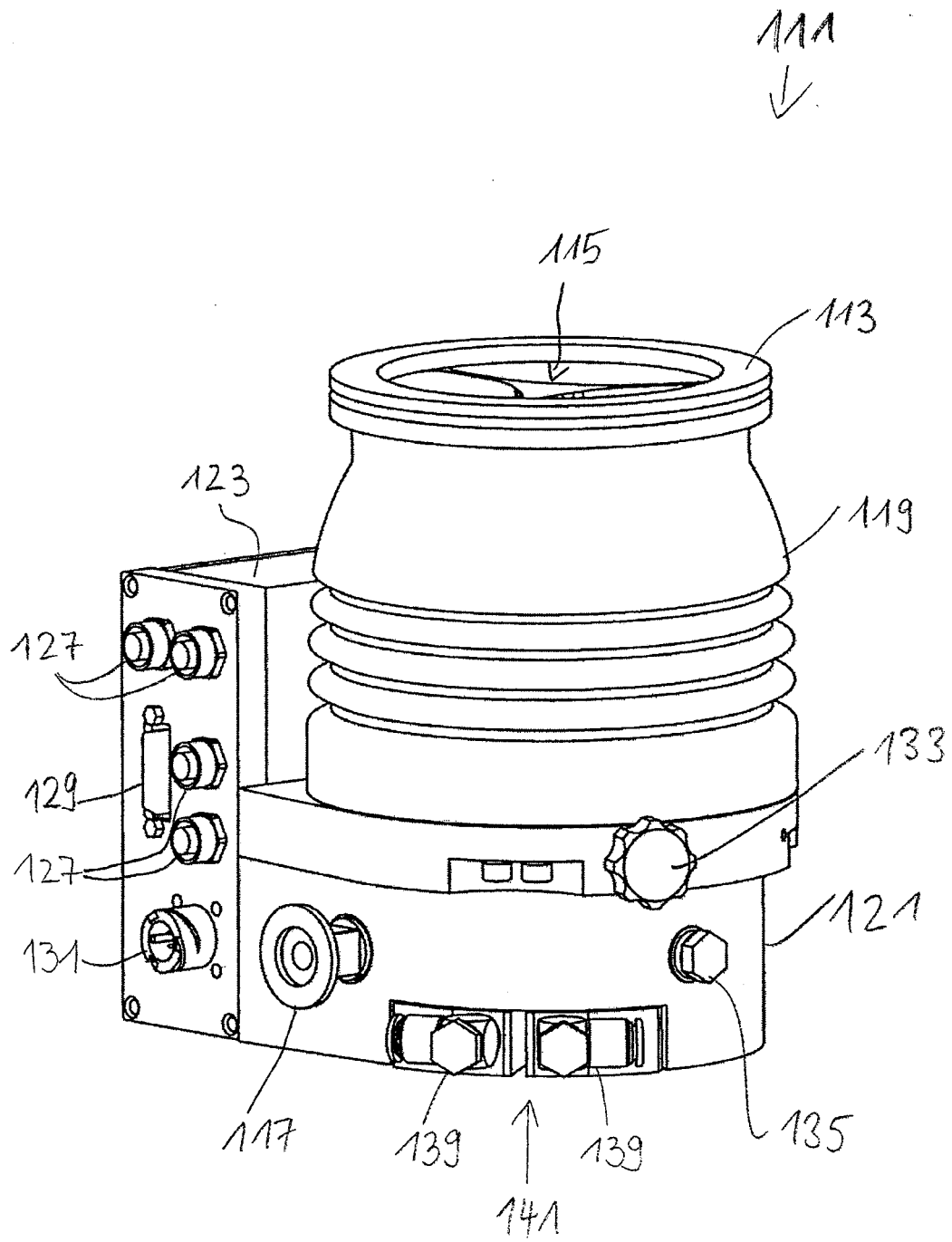


Fig. 1

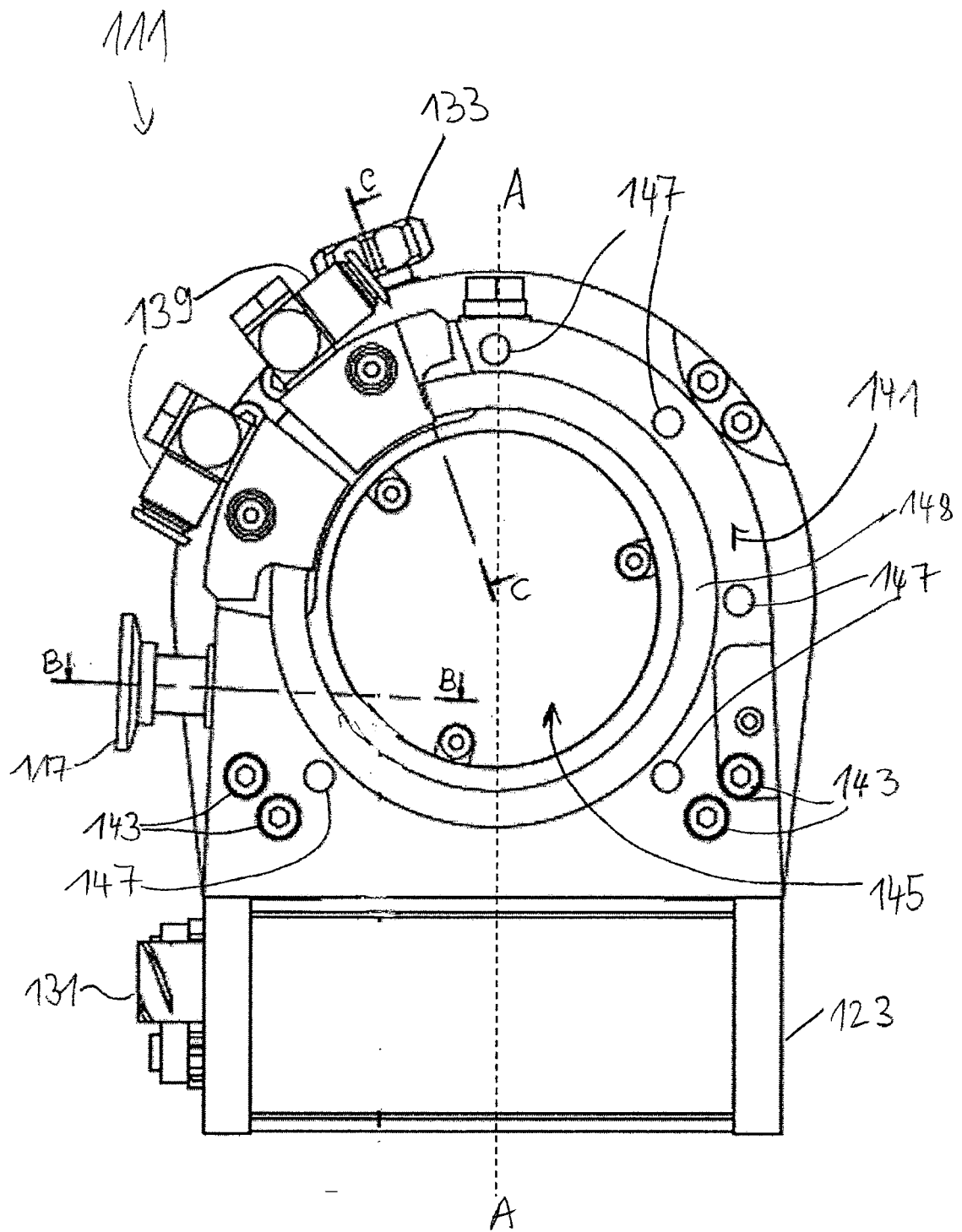
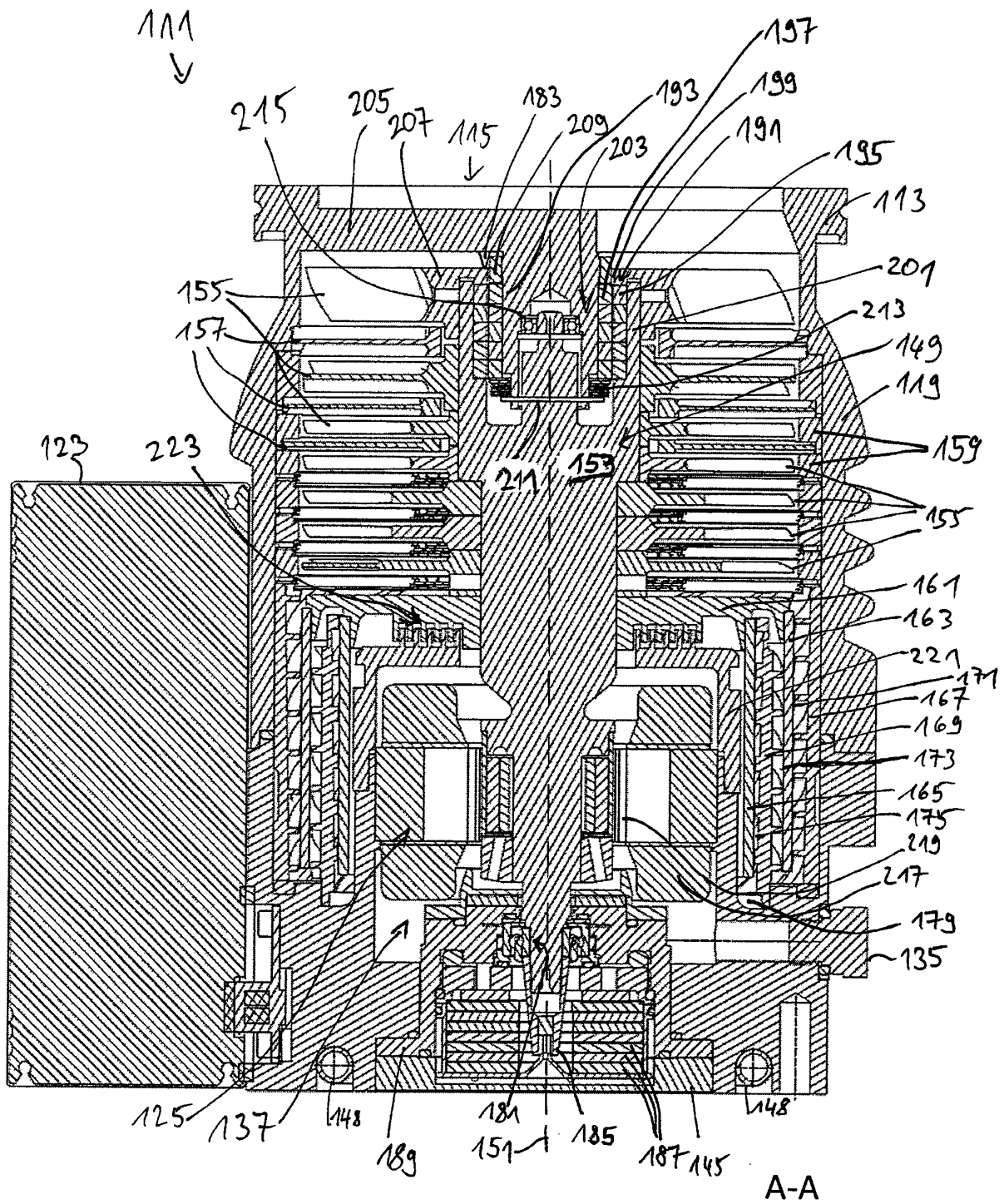


Fig. 2



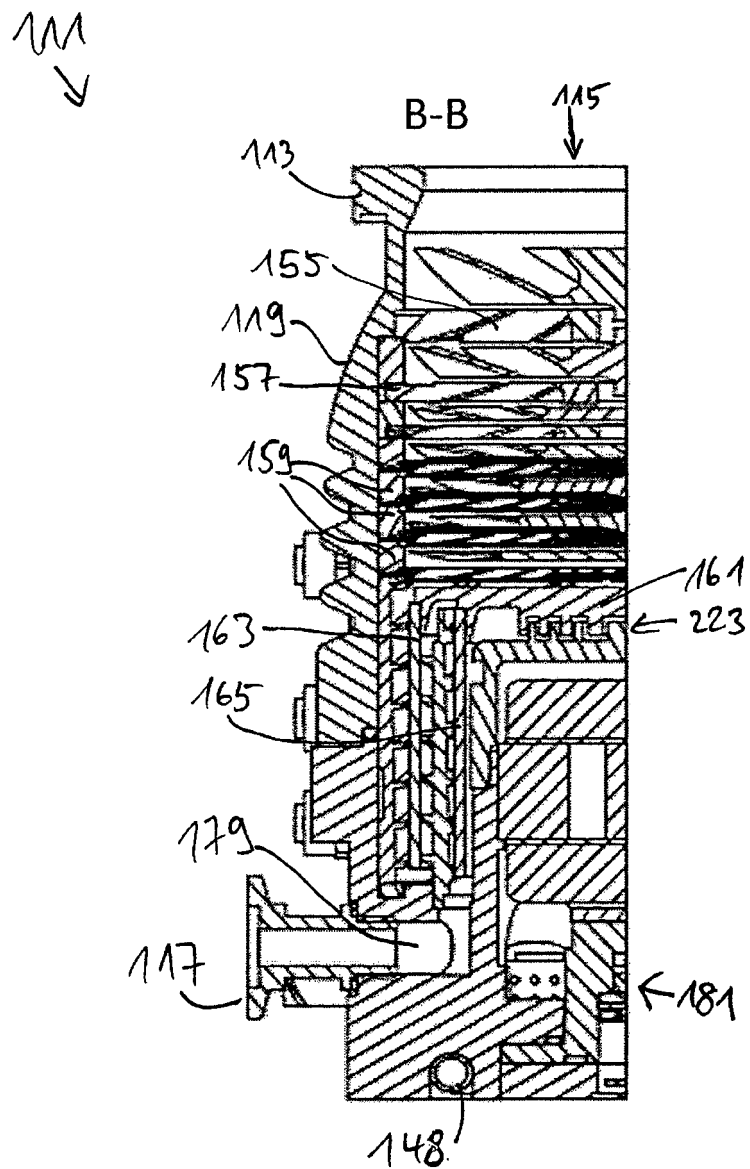


Fig. 4

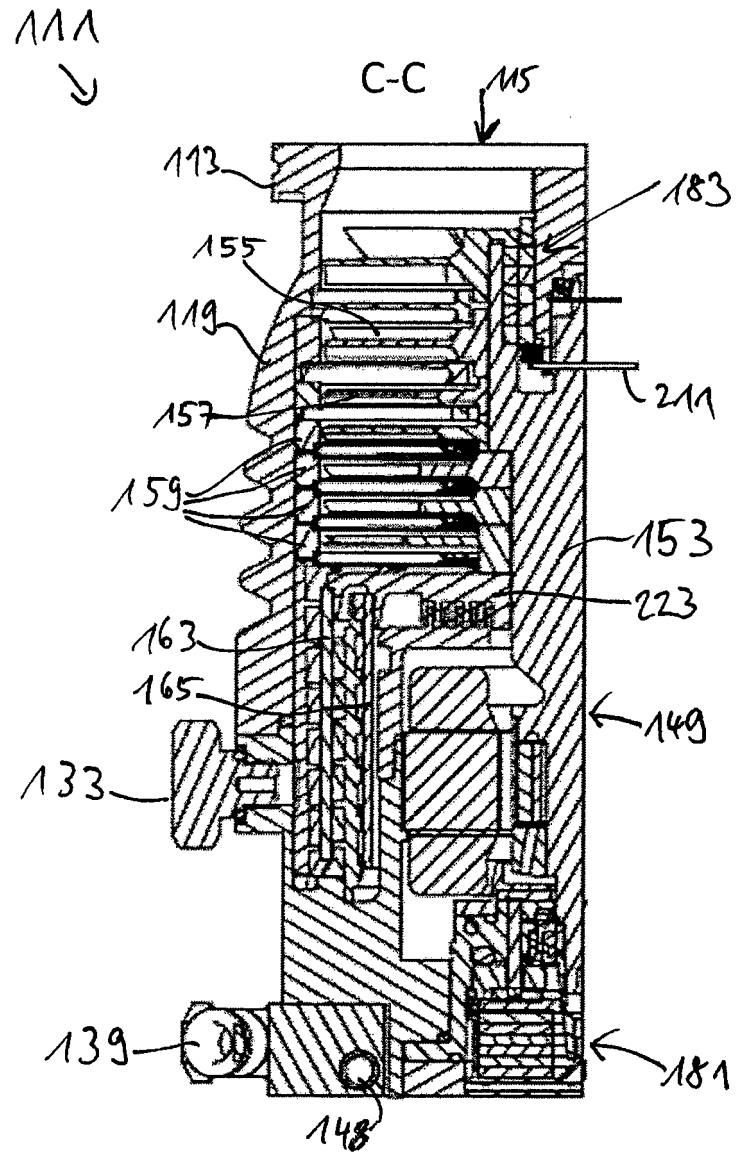


Fig. 5

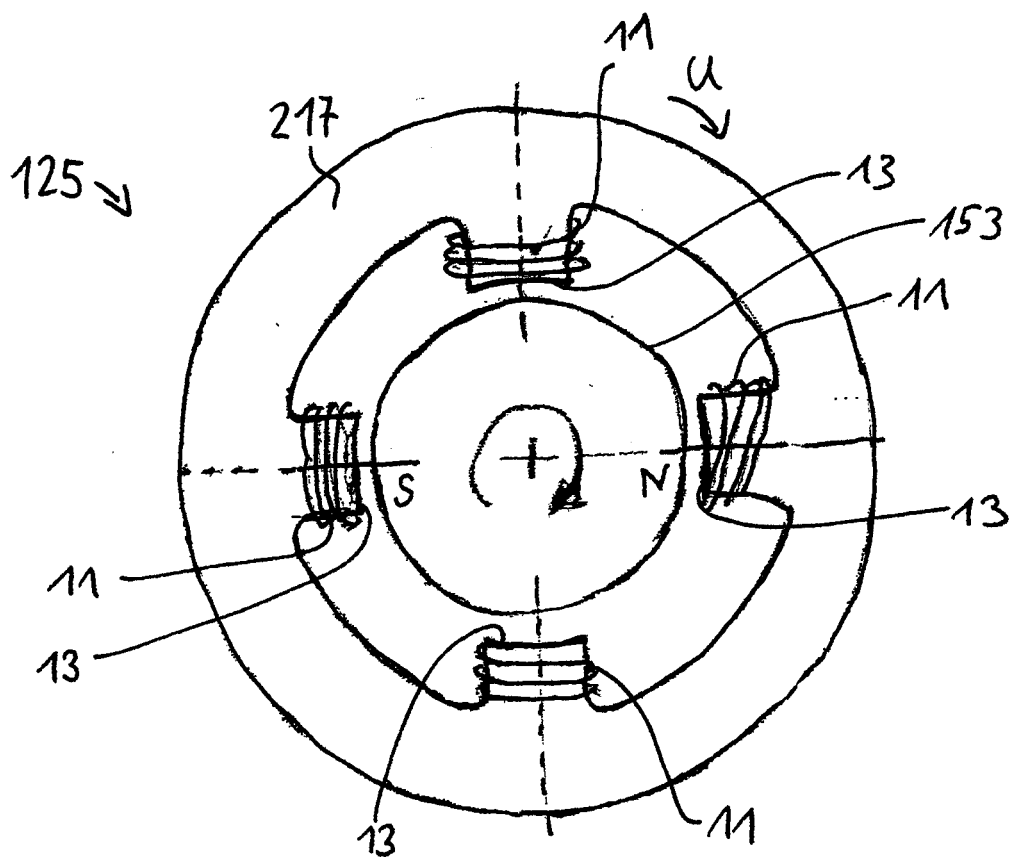


Fig. 6

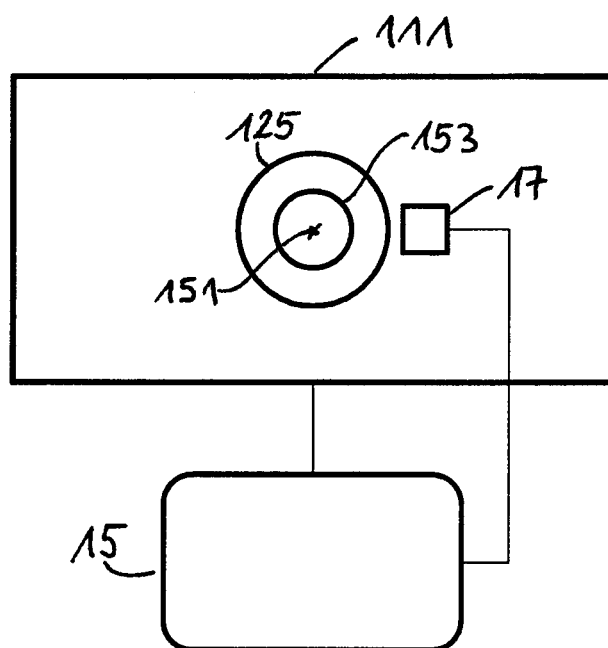


Fig. 7

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2881591 A2 [0003]
- EP 2520807 A2 [0003]
- WO 0207289 A2 [0004]