

(19)



(11)

EP 2 513 470 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
16.04.2014 Patentblatt 2014/16

(51) Int Cl.:
F03C 1/04 ^(2006.01) **F04B 49/12** ^(2006.01)
F04B 1/053 ^(2006.01) **F04B 51/00** ^(2006.01)
F04B 1/07 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10787367.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/068392

(22) Anmeldetag: **29.11.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2011/082890 (14.07.2011 Gazette 2011/28)

(54) **VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DES SCHLUCKVOLUMES EINER RADIALKOLBENMASCHINE**
METHOD FOR DETERMINING THE DISPLACEMENT OF A RADIAL PISTON MACHINE
PROCÉDÉ POUR DÉTERMINER LE VOLUME ABSORBÉ PAR UNE MACHINE À PISTONS
RADIAUX

(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**

(72) Erfinder:
• **SIEGER, Manfred**
88046 Friedrichshafen (DE)
• **GEIS, Joerg**
88677 Markdorf (DE)

(30) Priorität: **17.12.2009 DE 102009054876**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.10.2012 Patentblatt 2012/43

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 1 624 185 EP-A2- 1 901 040
WO-A1-99/17021

(73) Patentinhaber: **ZF Friedrichshafen AG**
88038 Friedrichshafen (DE)

EP 2 513 470 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 Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Schluckvolumens einer Radialkolbenmaschine nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

[0002] EP 1 624 185 beschreibt den nächsten Stand der Technik.

[0003] Es ist bekannt, dass die Förderleistung einer Radialkolbenmaschine, also eines Radialkolbenmotors oder einer Radialkolbenpumpe direkt vom Schluckvolumen abhängig ist, welches durch Verstellung der Exzentrizität veränderbar ist. Für eine Regelung der Förderleistung wäre das aktuelle Schluckvolumen als Führungsgröße geeignet - allerdings sind weder das Schluckvolumen noch die aktuell eingestellte Exzentrizität messbar.

[0004] Durch die DE 10 2007 003 800 B3 wurde ein Verfahren zur Regelung eines hydrostatischen Antriebs bekannt, wobei das aktuelle Schluckvolumen eines Hydromotors aus dem aktuellen elektrischen Verstellstrom mit Hilfe einer Verstellstromkennlinie abgeleitet wird.

[0005] Durch die DE 10 2004 048 174 A1 der Anmelderin wurde eine Einrichtung zur Bestimmung des Schluckvolumens eines verstellbaren Radialkolbenmotors bekannt, welcher schwenkbar gelagerte Zylinder aufweist. Zur Bestimmung des Schluckvolumens ist ein Drehwinkelgeber vorgesehen, welcher den Schwenkwinkel der Zylinder misst, der proportional zum aktuellen Schluckvolumen ist.

[0006] Durch die DE 10 2006 043 291 A1 der Anmelderin wurde ein berührungsloser Drehwinkelsensor für einen verstellbaren Radialkolbenmotor bekannt. Der Drehwinkelsensor soll den aktuellen Dreh- oder Schwenkwinkel eines Zylinders des Radialkolbenmotors erfassen, wobei der Drehwinkel proportional zum aktuell eingestellten Schluckvolumen des Radialkolbenmotors ist.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass das aktuelle Schluckvolumen der Radialkolbenmaschine möglichst einfach und genau ermittelt werden kann.

[0008] Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0009] Erfindungsgemäß wird die Drehrichtung der Antriebswelle aus dem Funktionsverlauf des Schwenkwinkels β , d. h. aus der relativen Lage der Schwenkwinkel-Maxima und -Minima gegenüber $\pi/2$ und $3\pi/2$ bestimmt: Ist der Anstieg des Schwenkwinkels β vom Minimum zum Maximum steiler als der Abfall vom Maximum zum Minimum, so gilt die Drehrichtung als rechtsdrehend. In abweichenden Fällen gilt die Drehrichtung als linksdrehend. Die Kenntnis der Drehrichtung ist wesentlich für die Berechnung des Schluckvolumens.

[0010] Erfindungsgemäß wird weiterhin bei laufender Radialkolbenmaschine der Schwenkwinkel β der Zylinder gemessen, daraus die Exzentrizität und darüber das

Schluckvolumen berechnet. Das aktuell ermittelte Schluckvolumen kann somit als Führungsgröße in einem Regelprozess zur Regelung der Förderleistung der Radialkolbenmaschine verwendet werden. Damit ergibt sich eine schnelle und genaue Regelung. Der Erfindung liegt der Gedanke zu Grunde, dass zwischen dem Schwenkwinkel β , dem Drehwinkel α der Antriebswelle und der jeweils eingestellten Exzentrizität e eine mathematische Verknüpfung besteht. Da das Schluckvolumen selbst und auch die Exzentrizität während des Betriebes der Radialkolbenmaschine nicht oder nur sehr schlecht messbar sind, wird erfindungsgemäß nur der Schwenkwinkel gemessen und über diesen unter Verwendung der mathematischen Beziehung das Schluckvolumen errechnet. Für die Funktion des Schwenkwinkels β in Abhängigkeit vom jeweiligen Drehwinkel α ergibt sich eine einer Sinuskurve ähnliche Funktion, bei der die Maxima und Minima gegenüber der Sinuskurve verschoben sind. Die Nullpunkte des Schwenkwinkels β werden jeweils im oberen und im unteren Totpunkt des Radialkolbens erreicht.

[0011] Nach einer vorteilhaften Verfahrensvariante wird der Schwenkwinkel β zu definierten Zeitpunkten t_n gemessen, wobei jedem Zeitpunkt t_n ein Drehwinkel α_n der Antriebswelle zugeordnet wird. Durch die Zuordnung des Drehwinkels zum Messzeitpunkt und damit zum gemessenen Schwenkwinkel β_n lässt sich die Exzentrizität e berechnen.

[0012] Nach einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante werden zur Festlegung der Zeitpunkte t_n eine Anzahl z von Impulsen pro Umdrehung der Antriebswelle erzeugt. Das Auftreten der Impulse löst die Messung des Schwenkwinkels β_n aus. Somit erhält man pro Umdrehung der Antriebswelle eine hinreichende Anzahl z von Messwerten für den Schwenkwinkel β und damit errechnete Werte des aktuellen Schluckvolumens.

[0013] Nach einer weiteren vorteilhaften Verfahrensvariante ist der Antriebswelle eine Nulllage zugeordnet, welche dem oberen Totpunkt des Exzenters entspricht und die nach jedem Durchgang, d. h. einem Drehwinkel von 360° neu bestimmt wird.

[0014] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert, wobei sich aus der Zeichnung/oder der Beschreibung weitere Merkmale und/oder weitere Vorteile ergeben können. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines verstellbaren Radialkolbenmotors,

Fig. 2 eine schematische Darstellung der geometrischen Verhältnisse für einen Zylinder eines Radialkolbenmotors und

Fig. 3 den Funktionsverlauf des Schwenkwinkels β in Abhängigkeit vom Drehwinkel α .

[0015] Fig. 1 zeigt eine als Radialkolbenmotor 1 ausgebildete Radialkolbenmaschine nach dem Stand der Technik. Fünf Zylinder 2 sind sternförmig angeordnet und

schwenkbar (was nicht dargestellt ist) gelagert. Jedem Zylinder 2 ist ein Kolben 3 zugeordnet, der sich mit einem Schuh gleitend an einem Hubring 4 abstützt. Der Hubring 4 wird von einem Exzenter 5 angetrieben und bewirkt somit die unterschiedlichen, in der Zeichnung dargestellten Hubphasen. Die in Fig. 1 nicht dargestellte schwenkbare Lagerung der Zylinder geht aus der eingangs genannten DE 10 2004 048 174 A1 hervor, die hiermit in vollem Umfang in den Offenbarungsgehalt der vorliegenden Anmeldung einbezogen wird.

[0016] Fig. 2 zeigt in schematischer Darstellung einen Zylinder 2 aus Fig. 1, wobei gleiche Bezugszahlen für gleiche Teile verwendet werden. Der Zylinder 2 ist um eine durch den Punkt S gehende Achse schwenkbar in einem nicht dargestellten Gehäuse gelagert. Der gleitend in dem Zylinder 2 angeordnete Kolben 3 stützt sich mit seinem Schuh 3a gleitend auf dem Hubring 4 ab, der von dem Exzenter 5 angetrieben wird. Der Exzenter 5 weist einen Drehpunkt D auf, durch welchen die Achse einer nicht dargestellten, den Exzenter 5 antreibenden Antriebswelle verläuft. Der Hubring 4 weist einen Mittelpunkt M auf; der Abstand des Drehpunktes D vom Schwenkpunkt S ist mit A bezeichnet. Der Abstand des Mittelpunktes M vom Drehpunkt D wird als Auslenkung oder Exzentrizität e bezeichnet. Die Auslenkung e ist zwecks Veränderung des Hub- oder Schluckvolumens des Radialkolbenmotors verstellbar. Der Schwenkwinkel des Zylinders 2 ist mit β und der Drehwinkel der Antriebswelle um den Drehpunkt D, ausgehend vom oberen Totpunkt des Kolbens 3, ist mit α bezeichnet. Für den eingezeichneten Drehwinkel α ergibt sich eine durch den Punkt E bezeichnete Position des Exzentrums, bei welchem der Zylinder 2 um den Winkel β verschwenkt wurde. Aus dem Dreieck DSE lässt sich folgende Beziehung ableiten:

$$\tan \beta = e \cdot \sin \alpha / (A + e \cdot \cos \alpha)$$

[0017] Man erkennt aus dieser Beziehung, dass der Schwenkwinkel β einerseits vom Drehwinkel α und andererseits von der eingestellten Exzentrizität e abhängt.

[0018] Die Funktion des Schwenkwinkels β ist in Fig. 3 aufgetragen und in durchgezogenen Linien dargestellt, und zwar einerseits für eine maximale Exzentrizität e und andererseits für die halbe maximale Exzentrizität (e/2). Zum Vergleich sind entsprechende Sinuskurven in gestrichelten Linien eingezeichnet. Man erkennt, dass die Nulldurchgänge identisch sind, allerdings nicht die Maxima und Minima. Das Maximum für den Schwenkwinkel β tritt vor $\pi/2$, das Minimum für β tritt nach dem Minimum der Sinuskurve auf.

[0019] Im Diagramm sind das Maximum mit $\beta_{\max}$ und das Minimum mit $\beta_{\min}$ eingezeichnet. Aus dem dargestellten Funktionsverlauf, d. h. aus der relativen Lage von $\beta_{\max}$ und $\beta_{\min}$ gegenüber $\pi/2$ und $3\pi/2$ lässt sich die Drehrichtung der Antriebswelle wie folgt ableiten: Die

Drehrichtung gilt als rechtsdrehend, wenn der Anstieg des Schwenkwinkels β vom Minimum zum Maximum steiler als der Abfall vom Maximum zum Minimum ist; in allen anderen Fällen gilt die Drehrichtung als linksdrehend. Rechtsdrehend wird mit $d = 1$ und linksdrehend mit $d = -1$ definiert.

[0020] Aus den so ermittelten Werten für β und α lässt sich nach der oben genannten tan-Funktion die Auslenkung oder Exzentrizität e errechnen. Für das Schluckvolumen v des Radialkolbenmotors 1 und die Auslenkung e gibt es eine eindeutige Beziehung:

$$v = f(e),$$

sodass die Kenntnis des Wertes der Auslenkung e äquivalent zur Kenntnis des Schluckvolumens v ist.

[0021] Das Maximum des Schwenkwinkels $\beta_{\max}$ tritt in Fig. 2 (linke Hälfte) dann auf, wenn der Strahl des Winkels β den Kreis mit dem Radius e um D im Punkt E' tangiert. Dann ergeben sich das rechtwinklige Dreieck DE'S und die einfache Beziehung:

$$\sin \beta_{\max} = e/A$$

[0022] Einer der Zylinder 2 ist mit einem nicht dargestellten Winkelsensor ausgestattet, der den Schwenkwinkel β misst - wie aus dem eingangs genannten Stand der Technik bekannt. Der Nullpunkt des Schwenkwinkels β wird jeweils in der oberen und unteren Endlage des Kolbens (oberer Totpunkt, unterer Totpunkt) erreicht. Pro ganzer Umdrehung der Antriebswelle erzeugt ein nicht dargestellter Impulsgeber eine Anzahl von z Impulsen in einem Impulsdetektor. Dabei muss z nicht notwendigerweise eine ganze Zahl sein. Das ist z. B. dann der Fall, wenn der Impulsgeber nicht direkt auf der Antriebswelle angeordnet ist, sondern über einen Zahntrieb mit nicht ganzzahligem Übersetzungsverhältnis angetrieben wird. Von jedem Impuls n wird der Zeitpunkt seiner Detektion t_n gespeichert. Außerdem löst jeder Impuls eine Messung des Schwenkwinkels β aus. Dieser Messwert wird dem Auslösezeitpunkt t_n zugeordnet: $\beta_n = \beta(t_n)$.

[0023] Da die Impulse im Allgemeinen keinen festen Winkellagen der Antriebswelle zugeordnet sind, wird bei jedem Umlauf die Nulllage neu bestimmt.

[0024] In der Umgebung der Nulldurchgänge ist der Schwenkwinkel β_n zu klein für eine brauchbare Genauigkeit. Verschärft wird das dann zusätzlich, wenn der Exzenter nur schwach ausgelenkt ist, d. h. wenn die Auslenkung e kleine Werte annimmt. Dieses Problem wird erfindungsgemäß wie folgt gelöst: wenn die Drehzahl der Antriebswelle groß gegenüber der Verstellgeschwindigkeit des Exzentrums ist, kann man nur die Extremwerte von β der letzten Umdrehung der Antriebswelle verwenden und e über die eindeutige Beziehung $\beta_{\max}(e)$ bestimmen.

men. Diese Beziehung lautet, wie oben erwähnt:

$$\sin \beta_{\max} = e/A,$$

d. h. der maximale Schwenkwinkel $\beta_{\max}$ hängt nur von der Geometrie, d. h. der aktuellen Auslenkung e ab.

Bezugszeichen

[0025]

- 1 Radialkolbenmotor
- 2 Zylinder
- 3 Kolben
- 3a Schuh
- 4 Hubring
- 5 Exzenter

- S Schwenkpunkt Zylinder
- D Drehpunkt Exzenter
- E, E' Exzenterlage
- M Mittelpunkt von Hubring
- A Abstand
- e Exzentrizität

- α Drehwinkel
- β Schwenkwinkel
- $\beta_{\max}$ Maximum
- $\beta_{\min}$ Minimum

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Schluckvolumens einer Radialkolbenmaschine (1) mit verstellbarer Exzentrizität (e), mit schwenkbar angeordneten Zylinder (2) und mit einer einen Exzenter (5) antreibenden Antriebswelle, wobei ein Schwenkwinkel (β) der Zylinder (2) gemessen und aus den Messwerten für den Schwenkwinkel (β) die Exzentrizität (e) und daraus das Schluckvolumen (v) berechnet werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehrichtung der Antriebswelle aus dem Funktionsverlauf ($\beta = f(\alpha)$) des Schwenkwinkels (β) in Abhängigkeit vom Drehwinkel (α) der Antriebswelle bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwenkwinkel β zu definierten Zeitpunkten t_n gemessen und dass jedem Zeitpunkt t_n ein Drehwinkel α_n der Antriebswelle zugeordnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Festlegung der Zeitpunkte t_n eine Anzahl z von Impulsen pro Umdrehung der Antriebswelle erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Antriebswelle eine Nulllage zugeordnet ist, welche der oberen Totpunktage des Exzenters (5) entspricht, und dass die Nulllage nach jeder Umdrehung neu bestimmt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** näherungsweise nur die Extremwerte $\beta_{\max}$ des Schwenkwinkels β einer Umdrehung der Antriebswelle verwertet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus den Extremwerten $\beta_{\max}$ die aktuelle Exzentrizität (e) berechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drehrichtung als rechtsdrehend definiert ist, wenn der Anstieg des Schwenkwinkels (β) vom Minimum $\beta_{\min}$ zum Maximum $\beta_{\max}$ steiler als der Abfall vom Maximum $\beta_{\max}$ zum Minimum $\beta_{\min}$ ist, und dass die Drehrichtung bei abweichendem Funktionsverlauf als linksdrehend gilt.

Claims

1. Method for determining the displacement volume of a radial piston machine (1) with adjustable eccentricity (e), with pivotably arranged cylinders (2) and with a driveshaft which drives an eccentric (5), wherein a pivoting angle (β) of the cylinders (2) is measured and the eccentricity (e) is calculated on the basis of the measured values for the pivoting angle (β), and the displacement volume (v) is calculated on the basis thereof, **characterized in that** the rotational direction of the driveshaft is determined from the functional profile ($\beta = f(\alpha)$) of the pivoting angle (β) as a function of the rotational angle (α) of the driveshaft.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** the pivoting angle β is measured at defined times t_n , and **in that** a rotational angle α_n of the driveshaft is assigned to each time t_n .
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** in order to define the times t_n a number z of pulses per rotation of the driveshaft is generated.
4. Method according to Claim 3, **characterized in that** a zero position is assigned to the driveshaft, which zero position corresponds to the top dead centre position of the eccentric (5), and **in that** the zero position is determined anew after each rotation.
5. Method according to Claim 1, **characterized in that** only the extreme values $\beta_{\max}$ of the pivoting angle β of one rotation of the driveshaft are evaluated ap-

proximately.

6. Method according to Claim 5, **characterized in that** the current eccentricity (e) is calculated on the basis of the extreme values $\beta_{\max}$. 5
7. Method according to Claim 1, **characterized in that** the rotational direction is defined as clockwise if the increase in the pivoting angle (β) from the minimum $\beta_{\min}$ to the maximum $\beta_{\max}$ is steeper than the drop from the maximum $\beta_{\max}$ to the minimum $\beta_{\min}$, and **in that** the rotational direction is anticlockwise in the case of a deviating functional profile. 10

droite lorsque l'augmentation de l'angle de pivotement (β) du minimum $\beta_{\min}$ au maximum $\beta_{\max}$ est plus forte que la chute du maximum $\beta_{\max}$ au minimum $\beta_{\min}$, et **en ce que** le sens de rotation est considéré comme tournant à gauche si la fonction s'en écarte.

15

Revendications

1. Procédé pour déterminer la cylindrée d'une machine à pistons radiaux (1) à excentricité réglable (e), avec des cylindres disposés de manière pivotante (2) et avec un arbre d'entraînement entraînant un excentrique (5), un angle de pivotement (β) des cylindres (2) étant mesuré et à partir des valeurs de mesure pour l'angle de pivotement (β), l'excentricité (e), et, de ce fait, la cylindrée (v), étant calculées, **caractérisé en ce que** le sens de rotation de l'arbre d'entraînement est déterminé à partir de la fonction ($\beta = f(\alpha)$) de l'angle de pivotement (β) en fonction de l'angle de rotation (α) de l'arbre d'entraînement. 20
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle de pivotement β est mesuré à des instants définis t_n et **en ce qu'à** chaque instant t_n est associé un angle de rotation α_n de l'arbre d'entraînement. 25
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** pour déterminer les instants t_n , un nombre z d'impulsions par rotation de l'arbre d'entraînement est produit. 30
4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'à** l'arbre d'entraînement est associée une position nulle, qui correspond à la position du point mort haut de l'excentrique (5), et **en ce que** la position nulle est redéterminé après chaque rotation. 35
5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'approximativement** seulement les valeurs extrêmes $\beta_{\max}$ de l'angle de pivotement β d'une rotation de l'arbre d'entraînement sont analysées. 40
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'on calcule l'excentricité actuelle (e) à partir des valeurs extrêmes $\beta_{\max}$. 45
7. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le sens de rotation est défini comme tournant à 50

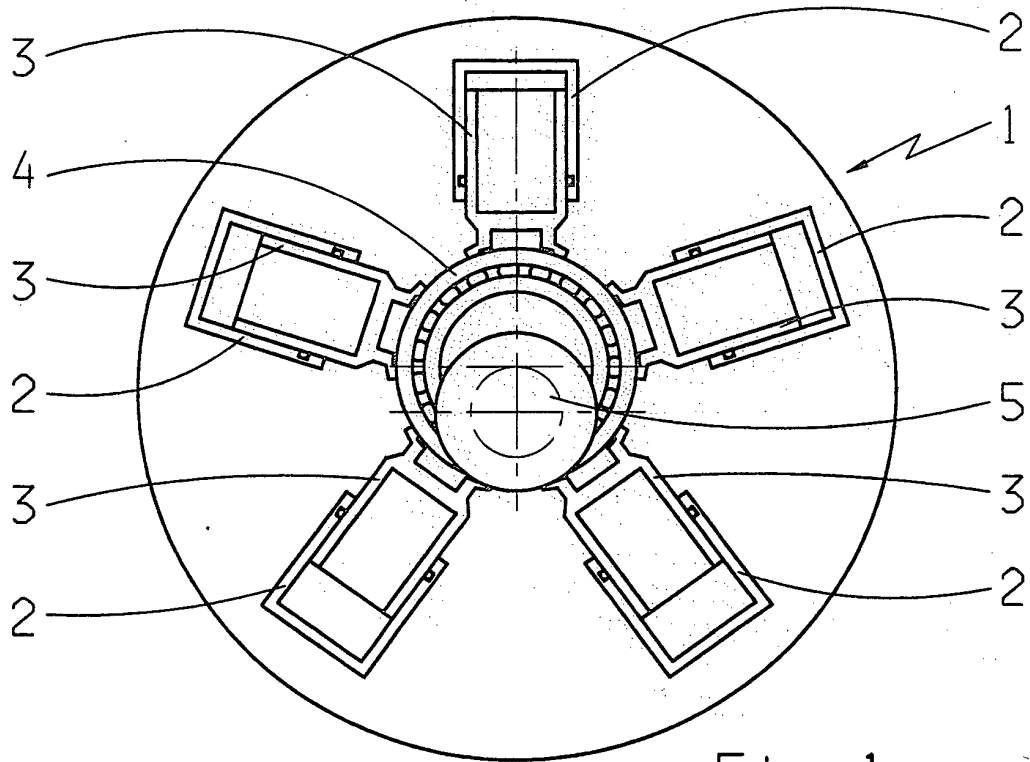


Fig. 1
(St. d. T.)

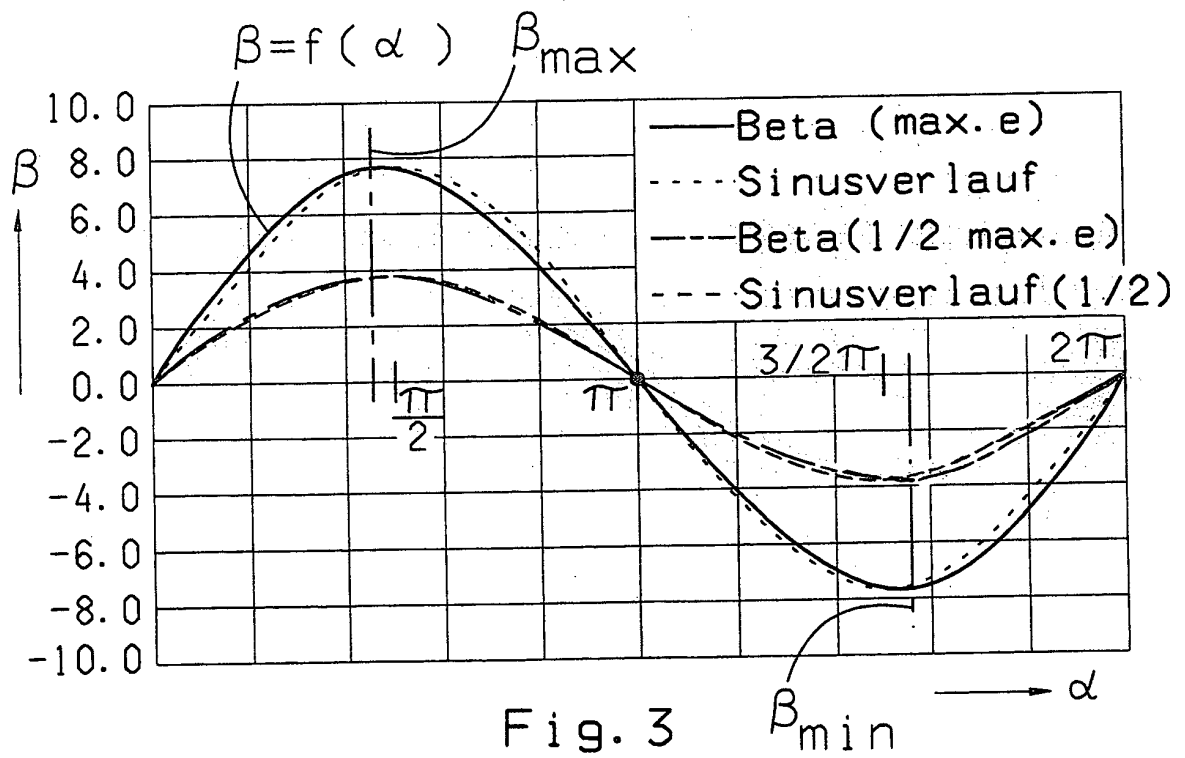


Fig. 3

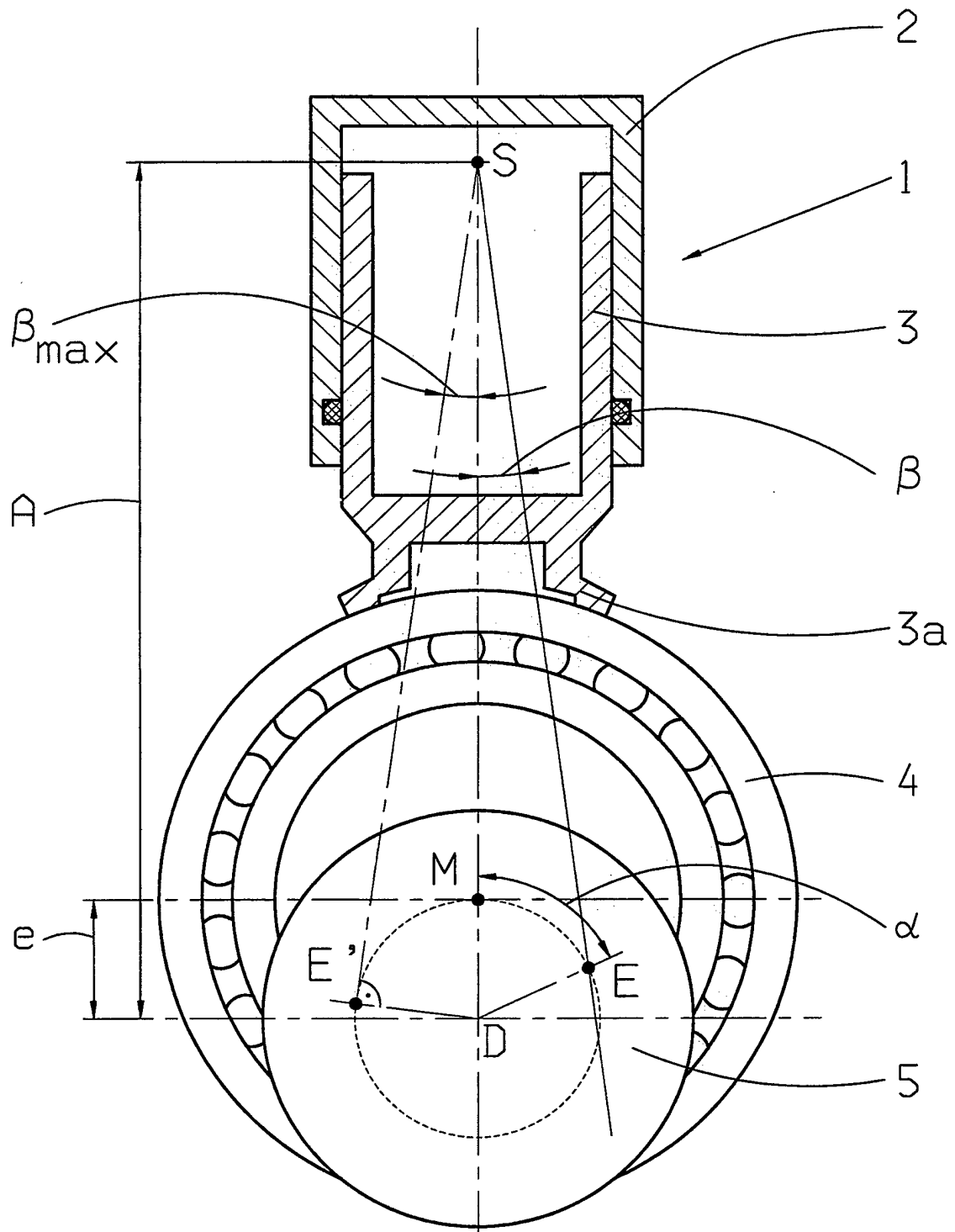


Fig. 2

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 1624185 A [0002]
- DE 102007003800 B3 [0004]
- DE 102004048174 A1 [0005] [0015]
- DE 102006043291 A1 [0006]