



(11)

**EP 1 732 088 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**14.08.2013 Patentblatt 2013/33**

(51) Int Cl.:  
**H01F 7/14** (2006.01)  
**F01L 9/04** (2006.01)  
**H01F 7/08** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06113990.3**

(22) Anmeldetag: **16.05.2006**

(54) **Elektromagnetischer Stellantrieb**

Electromagnetic actuator

Actionneur électromagnétique

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

(30) Priorität: **08.06.2005 DE 102005026535**  
**21.06.2005 DE 102005029018**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**13.12.2006 Patentblatt 2006/50**

(73) Patentinhaber: **Mahle International GmbH**  
**70376 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Baumbach, Jens**  
**98693, Ilmenau (DE)**  
• **Beyer, Frank**  
**98693, Ilmenau (DE)**  
• **Elsäßer, Dr. Alfred**  
**75210, Kelttern (DE)**

- **Kallenbach, Prof. Dr. Eberhard**  
**98714, Stützerbach (DE)**
- **Otto, Rainer**  
**99094, Erfurt (DE)**
- **Schilling, Wolfgang**  
**71334, Waiblingen (DE)**
- **Schmidt, Jan**  
**70374, Stuttgart (DE)**
- **Türpe, Dr. Dietmar**  
**98693, Ilmenau (DE)**

(74) Vertreter: **BRP Renaud & Partner**  
**Rechtsanwälte Notare Patentanwälte**  
**Königstrasse 28**  
**70173 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A-97/15061 WO-A-03/019582**

**EP 1 732 088 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 einen elektromagnetischen Stellantrieb zum Verstellen eines Stellglieds zwischen wenigstens drei Stellungen, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

**[0002]** Stellantriebe dieser Art können beispielsweise zur Betätigung eines Lufttaktventils im Ansaugtrakt einer Brennkraftmaschine verwendet werden, mit dessen Hilfe eine Impulsaufladung der Brennkraftmaschine erzielt werden kann. Grundsätzlich sind auch andere Anwendungsformen möglich, bei denen ein Stellglied vorzugsweise innerhalb sehr kurzer Schaltzeiten zwischen zwei verschiedenen Schaltstellungen umgeschaltet werden muss. Beispielsweise ist eine Verwendung eines derartigen Stellantriebs zum Verstellen von Gaswechselventilen bei Kolbenmotoren denkbar.

**[0003]** Aus der DE 10 2004 037 360 A1 ist ein Stellantrieb der eingangs genannten Art bekannt, der mit einem weichmagnetischen Anker ausgestattet ist. Dieser Anker ist mit einem Stellglied antriebsgekoppelt und weist mehrere Ankerflächen auf. Des Weiteren weist der Stellantrieb mehrere weichmagnetische Polelemente auf, die mehrere Polflächen aufweisen, an denen die Ankerflächen in zwei Endstellungen des Ankers zur Anlage kommen. Außerdem ist eine Rückstelleinrichtung vorgesehen, die den Anker mittels Federkraft in eine zwischen den Endstellungen liegende Ausgangsstellung antreibt. Mit Hilfe einer Halteeinrichtung kann nun der Anker in seinen Endstellungen mittels elektromagnetischer Kräfte festgelegt werden.

**[0004]** Beim bekannten Stellantrieb ist sämtlichen Polelementen eine gemeinsame elektromagnetische Spule zugeordnet, mit deren Hilfe die zum Festlegen des Ankers in dessen Endstellungen erforderlichen elektromagnetischen Kräfte erzeugt werden können. Durch die Verwendung nur einer einzigen Spule baut der bekannte Stellantrieb vergleichsweise kompakt und preiswert.

**[0005]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für einen derartigen Stellantrieb eine verbesserte oder zumindest eine andere Ausführungsform anzugeben, die sich insbesondere durch eine vereinfachte und vorzugsweise preiswerte Herstellbarkeit auszeichnet.

**[0006]** Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0007]** Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, die zum Festhalten des Ankers in dessen Endstellungen erforderlichen elektromagnetischen Kräfte mittels mehrerer Spulen zu erzeugen, wobei benachbarte Spulen zur Erzeugung dieser Kräfte gegensinnig gepolt werden. Auf diese Weise ist es möglich, sämtliche Spulen an der Erzeugung der elektromagnetischen Kräfte zum Festlegen des Ankers in der jeweiligen Endstellung zu beteiligen. Die Erfindung nutzt dabei die Erkenntnis, dass eine einzige Spule zur Erzeugung der erforder-

lichen elektromagnetischen Kräfte mit vergleichsweise hohen Strömen beaufschlagt werden muss, was einerseits höhere Verluste und eine relativ starke Wärmeentwicklung nach sich zieht. Andererseits ist zum Steuern der großen Ströme eine entsprechend aufwändige Leistungselektronik erforderlich. Eine derartige Leistungselektronik ist ihrerseits vergleichsweise teuer, verbraucht selbst vergleichsweise viel Energie und erzeugt entsprechend viel Abwärme. Im Unterschied dazu können die erforderlichen elektromagnetischen Kräfte mit mehreren Spulen bei deutlich geringeren Strömen innerhalb der einzelnen Spulen realisiert werden, wodurch sich die Verluste und die Wärmeentwicklung verringern. Von besonderer Bedeutung ist jedoch, dass die zum Schalten bzw. Steuern bzw. Regeln der Spulen erforderliche Elektronik nur noch vergleichsweise geringe Strömen schalten muss, so dass sie entsprechend einfach und preiswert realisiert werden kann und dabei einen vergleichsweise geringen eigenen Strombedarf aufweist und eine entsprechend geringe Wärmeentwicklung zeigt. Obwohl der erfindungsgemäße Stellantrieb mehrere Spulen benötigt, kann er aufgrund der aufgezeigten Vorteile am Ende preiswerter realisiert werden als der bekannte Stellantrieb, der nur eine einzige Spule aufweist.

**[0008]** Bei einer vorteilhaften Ausführungsform sind die Polelemente und der Anker so aufeinander abgestimmt, dass sich in jeder Endstellung des Ankers ein geschlossener Magnetkreis ausbildet, der benachbarte Polelemente über den Anker miteinander verbindet. Mit Hilfe des über den Anker realisierten magnetischen Schlusses können in den Endstellungen extrem hohe Haltekräfte mit vergleichsweise niedrigen Strömen realisiert werden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Wärmeentwicklung vorteilhaft.

**[0009]** Bei einer anderen Ausführungsform bestromt die Halteeinrichtung in beiden Endstellungen des Ankers die Spulen zum Festlegen des Ankers mit gleichbleibender Polung. Das bedeutet, dass zum Umschalten des Ankers zwischen den beiden Endstellungen die Bestromung der Spulen zwar (kurzzeitig) ausgeschaltet wird, damit der Anker von den der einen Endstellung zugeordneten Polflächen abheben kann, jedoch werden die Spulen zum Erzeugen der Haltekräfte an den der anderen Endstellung zugeordneten Polflächen nicht umgepolt, sondern bei gleicher Polung lediglich wieder neu bestromt. Auf diese Weise kann die in den Spulen beim Ausschalten verbleibende Energie genutzt werden. Die erforderlichen elektromagnetischen Kräfte können auf diese Weise schneller erzeugt werden. Gleichzeitig sinkt der Strom- bzw. Energiebedarf des Stellantriebs. Darüber hinaus vereinfacht sich die Elektronik zum Steuern bzw. Regeln der Spulenbestromung.

**[0010]** Eine andere wichtige Ausführungsform charakterisiert sich dadurch, dass der Anker in einem Ankerraum angeordnet ist und die Spulen jeweils in einem zum Ankerraum offenen Spulenraum angeordnet sind. Des Weiteren sind die Spulen und der Ankerraum so aufeinander abgestimmt, dass die Spulen in einem fertig ge-

wickelten Zustand bei entferntem Anker in den Anker-  
raum und von diesem in den jeweiligen Spulenraum ein-  
führbar sind. Diese Bauweise hat den großen Vorteil,  
dass die einzelnen Spulen im Rahmen einer Vormontage  
komplett gewickelt und fertiggestellt werden können, so  
dass im Rahmen einer Endmontage nur noch die fertigen  
Spulen in die Spulenräume eingesetzt werden müssen.  
Im Vergleich zu einer herkömmlichen Bauweise, bei der  
die jeweiligen Spulen unmittelbar am Polelement gewik-  
kelt werden müssen, bedeutet dies eine erhebliche Ver-  
einfachung. Dementsprechend lässt sich der erfindungs-  
gemäße Stellantrieb besonders preiswert herstellen.

**[0011]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Er-  
findung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den  
Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschrei-  
bung anhand der Zeichnungen.

**[0012]** Es versteht sich, dass die vorstehend genann-  
ten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale  
nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, son-  
dern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstel-  
lung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegen-  
den Erfindung zu verlassen.

**[0013]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfin-  
dung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in  
der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei  
sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche  
oder funktional gleiche Bauteile beziehen.

**[0014]** Es zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1 bis 3 jeweils einen stark vereinfachten, prinzi-  
piellen Querschnitt durch einen erfin-  
dungsgemäßen Stellantrieb bei unter-  
schiedlichen Ankerstellungen.

**[0015]** Entsprechend den Fig. 1 bis 3 umfasst ein er-  
findungsgemäßer elektromagnetischer Stellantrieb 1 ei-  
nen Anker 2, der auf nicht dargestellte Weise mit einem  
ebenfalls nicht gezeigten Stellglied antriebsgekoppelt ist.  
Beispielsweise sitzt der Anker 2 hierzu drehfest auf einer  
Welle 3, die um eine Drehachse 4 drehbar gelagert ist.  
Die Welle 3 ist dann beispielsweise mit dem nicht ge-  
zeigten Stellglied drehfest verbunden, so dass über die  
Welle 3 der Anker 2 mit dem Stellglied antriebsgekoppelt  
ist.

**[0016]** Der Stellantrieb 1 zeichnet sich insbesondere  
durch extrem kurze Schaltzeiten aus. Beispielsweise  
kann das Stellglied ein Ventil oder eine Klappe oder ein  
beliebiges anderes Stellorgan sein, das mit vergleichs-  
weise hoher Geschwindigkeit bzw. mit extrem kurzen  
Schaltzeiten zwischen wenigstens zwei Schaltstellun-  
gen umgeschaltet werden soll. Vorzugsweise handelt es  
sich beim Stellantrieb 1 um einen Hochgeschwindigkeits-  
stellantrieb zur Betätigung eines Lufttaktventils, das in  
einem Ansaugtrakt angeordnet ist. Das Lufttaktventil ist  
dann das vom Stellantrieb 1 zum Verstellen angetriebene  
Stellglied. Ein derartiger Hochgeschwindigkeitsstellan-  
trieb ist beispielsweise auch aus der DE 101 40 706 A1  
bekannt.

**[0017]** Ebenso ist eine andere Ausführungsform mög-  
lich, bei welcher der Stellantrieb 1 z. B. bei einem elek-  
tromagnetischen Ventiltrieb zum Verstellen eines Gas-  
wechselventils einer Brennkraftmaschine zur Anwen-  
dung kommt. Die genannten Anwendungsbeispiele sind  
rein exemplarisch und ohne Beschränkung der Allge-  
meinheit.

**[0018]** Der Anker 2 weist mehrere Ankerflächen 5 und  
6 auf. Im gezeigten, bevorzugten Ausführungsbeispiel  
sind insgesamt acht Ankerflächen 5, 6 vorgesehen, und  
zwar vier erste Ankerflächen 5 und vier zweite Ankerflä-  
chen 6. Der Anker 2 besteht aus einem weichmagnetischen  
Werkstoff.

**[0019]** Des Weiteren weist der Stellantrieb 1 mehrere  
Polelemente 7 auf, die ebenfalls aus einem weichmag-  
netischen Werkstoff bestehen. Bevorzugt wird dabei ei-  
ne bezüglich der Drehachse 4 gleichmäßige umfangs-  
mäßige Verteilung der Polelemente 7. Diese Polelemen-  
te 7 weisen mehrere Polflächen 8, 9 auf. Im gezeigten,  
bevorzugten Ausführungsbeispiel sind genau vier Pol-  
elemente 7 vorgesehen, die insgesamt acht Polflächen  
8, 9 aufweisen, nämlich vier erste Polflächen 8 und vier  
zweite Polflächen 9. An besagten Polflächen 8, 9 kom-  
men die Ankerflächen 5, 6 in zwei Endstellungen des  
Ankers 2 zur Anlage.

**[0020]** Fig. 1 zeigt dabei die erste Endstellung, in der  
alle ersten Ankerflächen 5 an den ersten Polflächen 8  
anliegen. Im Unterschied dazu zeigt Fig. 2 die zweite  
Endstellung, in der sämtliche zweiten Ankerflächen 6 an  
den zweiten Polflächen 9 anliegen.

**[0021]** Der Stellantrieb 1 ist außerdem mit einer Rück-  
stelleinrichtung 10 ausgestattet. Diese Rückstelleinrich-  
tung 10 ist so ausgestaltet, dass sie den Anker 2 mittels  
Rückstellkraft in eine Ausgangsstellung antreibt. Diese  
Ausgangsstellung ist in Fig. 3 wiedergegeben und liegt  
zwischen den beiden Endstellungen. Die Rückstellein-  
richtung 10 kann eine oder mehrere Federn umfassen  
und ist so ausgestaltet, dass sie einer Auslenkung des  
Ankers 2 aus der Ausgangsstellung in der einen Richtung  
und in einer entgegengesetzten Gegenrichtung jeweils  
federnde Rückstellkräfte, also insbesondere Federkräf-  
te, entgegensetzt. Sofern am Anker 2 keine anderen  
Kräfte eingreifen, stellt sich somit die Ausgangsstellung  
von selbst ein, so dass diese auch als Neutralstellung  
bezeichnet werden kann. Vorzugsweise kann die Rück-  
stelleinrichtung 10 durch eine Torsionsfeder gebildet  
sein, die im vorliegenden Beispiel coaxial im Inneren der  
Welle 3 angeordnet ist, die hierzu als Hohlwelle ausge-  
bildet ist.

**[0022]** In den Endstellungen kann der Anker 2 entge-  
gen der Rückstellkraft der Rückstelleinrichtung 10 mit  
Hilfe von elektromagnetischen Kräften festgehalten bzw.  
festgelegt werden. Hierzu ist eine Halteeinrichtung 11  
vorgesehen, die zumindest mehrere elektromagnetische  
Spulen 12 aufweist sowie eine hier nicht gezeigte Lei-  
stungselektronik zum Steuern bzw. Regeln der Spulen  
12. Die Halteeinrichtung 11 kann mit Hilfe der Spulen 12  
die erforderlichen elektromagnetischen Kräfte erzeugen,

mit denen der Anker 2 entgegen der Rückstellkraft der Rückstelleinrichtung 10 in seinen Endstellungen festgehalten werden kann.

**[0023]** Erfindungsgemäß sind ebenso viele Spulen 12 wie Polelemente 7 vorgesehen. Dementsprechend weist der Stellantrieb 1 vorzugsweise vier Spulen 12 auf. Erfindungsgemäß beträgt die Anzahl der Polelemente 7 zumindest zwei und ist gerade. Also sind grundsätzlich auch zwei oder sechs oder acht Polelemente 7 mit derselben Anzahl an Spulen 12 möglich.

**[0024]** Die Polelemente 7 sind bezüglich der Drehachse 4 radial angeordnet. Die Spulen 12 umschließen jeweils koaxial das zugehörige Polelement 7, so dass eine Wickelachse der jeweiligen Spule 12 ebenfalls radial verläuft.

**[0025]** Die Halteeinrichtung 11 ist erfindungsgemäß so ausgestaltet, dass sie für den Fall, dass der Anker 2 in einer seiner Endstellungen festgelegt werden soll, die Spulen 12 so bestromt, dass die Polflächen 8, 9 benachbarter Polelemente 7 gegensinnig magnetisch gepolt sind. Bei den in Umfangsrichtung benachbarten Polelementen 7 wechseln sich somit Plus-Pol und Minus-Pol ab. Die vergleichsweise große Anzahl an Spulen 12 und Polelementen 7, die zur Erzeugung der zum Halten des Ankers 2 benötigten elektromagnetischen Kräfte vorhanden sind, ermöglicht es, die den einzelnen Spulen 12 zuzuführenden elektrischen Ströme relativ klein zu halten. Dies führt einerseits dazu, dass innerhalb der einzelnen Spulen 12 nur relativ wenig Wärme erzeugt wird. Zum anderen ist zum Schalten der Spulen 12 nur eine vergleichsweise einfache Leistungselektronik erforderlich, die entsprechend preiswert realisierbar ist und ihrerseits einen vergleichsweise niedrigen Stromverbrauch mit entsprechend niedriger Wärmeentwicklung aufweist. Darüber hinaus werden am Anker 2 die elektromagnetischen Kräfte umfangsmäßig vergleichsweise gleichmäßig verteilt eingeleitet, wodurch auch hier Verluste vermieden werden können. Außerdem kann der Anker 2 in radialer Richtung vergleichsweise klein bauen, wodurch er ein entsprechend kleines Trägheitsmoment aufweist, was schnelle Schaltbetätigungen begünstigt.

**[0026]** Die in Umfangsrichtung abwechselnde Polung der Polelemente 7 begünstigt in den Endstellungen des Ankers 2 die Ausbildung eines magnetischen Schlusses oder Magnetkreises, der benachbarte Polelemente 7 über den Anker 2 miteinander verbindet. Mit Hilfe eines derartigen magnetischen Schlusses können besonders hohe Haltekräfte erzeugt werden, wobei gleichzeitig der hierzu erforderliche Strombedarf sinkt.

**[0027]** Um diesen magnetischen Schluss möglichst effektiv auszugestalten, sind die Ankerflächen 5, 6 und die Polflächen 8, 9 vergleichsweise groß und/oder so ausgestaltet, dass sich eine flächige Kontaktierung zwischen Polflächen 8, 9 und Ankerflächen 5, 6 in der jeweiligen Endstellung ausbildet.

**[0028]** Vorzugsweise kann die Halteeinrichtung 11 außerdem so ausgestaltet sein, dass sie die Spulen 12 zum Festlegen des Ankers 2 in dessen Endstellungen in jeder

der beiden Endstellungen mit gleichbleibender elektrischer Polung bestromt. Das heißt, zum Erzeugen der Haltekräfte in der einen Endstellung und zum Erzeugen der Haltekräfte in der anderen Endstellung, werden die Spulen 12 nicht umgepolt, sondern lediglich kurzzeitig ausgeschaltet, unipolarer Betrieb, damit sich der Anker 2 angetrieben durch die Rückstellkraft der Rückstelleinrichtung 10 aus der jeweiligen Endstellung herausbewegen und in Richtung der anderen Endstellung beschleunigen kann. Da eine Umpolung der Spulen 12 nicht erforderlich ist, können die zum Erzeugen der benötigten Haltekräfte erforderlichen elektromagnetischen Felder besonders rasch aufgebaut werden. Gleichzeitig vereinfacht sich dadurch die Leistungselektronik. Da die elektrische Polung der Spulen 12 in beiden Endstellungen gleich ist, ergeben sich in diesen Endstellungen auch gleiche magnetische Pole an den Polelementen 7, was den Fig. 1 und 2 entnehmbar ist.

**[0029]** Bei der hier gezeigten Ausführungsform ist der Anker 2 unsymmetrisch ausgestaltet, und zwar so, dass bei einem Ausgangszustand mit in der Ausgangsstellung gemäß Fig. 3 ruhendem Anker 2 eine Bestromung der Spulen 12 elektromagnetische Kräfte erzeugt, die den Anker 2 in Richtung der einen Endstellung stärker anziehen als in der Gegenrichtung zur anderen Endstellung. Erreicht wird dies hier jeweils durch eine Kennlinienbeeinflussung 13, welche die der einen Endstellung zugeordnete Ankerfläche vergrößert. Im vorliegenden Fall wird die der ersten Endstellung gemäß Fig. 1 zugeordnete erste Ankerfläche 5 durch die Kennlinienbeeinflussung 13 vergrößert bzw. wird der Abstand zwischen den Ankerflächen 5, 6 und den Polflächen 8, 9 in der Ausgangsstellung unsymmetrisch verändert. Eine derartige Ausgestaltung ermöglicht es, den in der Ausgangsstellung ruhenden Anker 2 durch eine gezielte Bestromung der Spulen 12 zu Schwingungen anzuregen, diese im Resonanzbereich so weit zu verstärken, dass der Anker 2 in einer seiner Endstellungen aufgefangen werden kann. Zusätzlich oder alternativ zu einer unsymmetrischen Ausgestaltung des Ankers 2 ist es zum selben Zweck ebenso möglich, die Polelemente 7 unsymmetrisch anzuordnen oder unsymmetrisch auszugestalten. Ebenso kann die Ausgangsstellung des Ankers 2 unsymmetrisch zwischen den beiden Endstellungen angeordnet sein.

**[0030]** Entsprechend Fig. 1 sind die ersten Polflächen 8 und die ersten Ankerflächen 5 der ersten Endstellung des Ankers 2 zugeordnet, in der sie aneinander anliegen. Im Unterschied dazu sind die zweiten Ankerflächen 6 und die zweiten Polflächen 9 der zweiten Endstellung gemäß Fig. 2 zugeordnet, in der sie flächig aneinander anliegen.

**[0031]** Vorzugsweise sind alle Polelemente 7 an einem gemeinsamen Jochkörper 14 ausgebildet. Auf diese Weise kann in den Endstellungen des Ankers 2 ein magnetischer Rückschlusskreis geschlossen werden, was zusätzlich die in den Anker 2 einleitbaren Haltekräfte verstärkt, bei gleichzeitig reduzierten Spulenströmen. Der

Jochkörper 14 kann wie hier zweckmäßig bezüglich der Drehachse 4 rotationssymmetrisch ausgestaltet sein und insbesondere einen kreisförmigen Außenumfang aufweisen. Vorzugsweise ist der Jochkörper 14 aus mehreren Lagen eines weichmagnetischen Blechs oder auch aus Kompositmaterial aufgebaut. Außerdem kann der Jochkörper 14 wie hier mit mehreren Montageöffnungen 15 versehen sein, mit deren Hilfe der Jochkörper 14 an einem anderen Bauteil befestigt werden kann.

**[0032]** Der Anker 2 ist in einem Ankerraum 16 angeordnet, der hier im Jochkörper 14, insbesondere zentral, ausgebildet ist. Des weiteren ist jede Spule 12 in einem Spulenraum 17 angeordnet. Jeder Spulenraum 17 ist zum Ankerraum 16 hin offen und umschließt coaxial das jeweilige Polelement 7. Die Spulenräume 17 sind hier ebenfalls im Jochkörper 14 ausgebildet. Die Dimensionierungen der Spulen 12 und des Ankerraums 16 sowie der offenen Seiten der Spulenräume 17 sind bei der hier gezeigten, bevorzugten Ausführungsform so aufeinander abgestimmt, dass die einzelnen Spulen 12 in einem fertig gewickelten Zustand durch den Ankerraum 16 in den jeweiligen Spulenraum 17 einführbar sind, wobei der Anker 2 für diesen Montagevorgang entfernt ist. Diese spezielle Dimensionierung ist für eine serienmäßige Montage des Stellantriebs 1 von besonderer Bedeutung. Denn die Spulen 12 können im Rahmen einer Vormontage gewickelt und fertiggestellt werden, so dass der Jochkörper 14 mit den fertigen Spulen 12 bestückt werden kann. Hierzu wird die jeweilige Spule 12 axial in den Ankerraum 16 eingeführt und anschließend radial in den jeweiligen Spulenraum 17 überführt. Um dies zu ermöglichen, ragen beispielsweise die Polelemente 7 nur so weit in den Ankerraum 16 ein, dass die Spulen 12 noch ohne weiteres in den Ankerraum 16 einführbar sind.

**[0033]** Zur Ausbildung der Ankerflächen 5, 6 am Anker 2 ist der Anker 2 mit mehreren, hier mit vier Flügeln 18 ausgestattet, die sich entlang des Ankers 2 axial erstrecken und von diesem bezüglich der Drehachse 4 radial abstehen. Jeder Flügel 18 trägt eine der ersten Ankerflächen 5 sowie eine der zweiten Ankerflächen 6. Die Anzahl der Flügel 18 stimmt mit der Anzahl der Polelemente 7 überein, ebenso wie deren Anordnung. Dementsprechend sind die Flügel 18 in Umfangsrichtung vorzugsweise gleichmäßig verteilt angeordnet. Jeder Flügel 18 geht an der der ersten Ankerfläche 5 zugeordneten Seite in die Kennlinienbeeinflussung 13 über, um die oben beschriebene Asymmetrie des Ankers 2 zu erzeugen.

## Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Stellantrieb zum Verstellen eines Stellglieds zwischen wenigstens drei Stellungen,

- mit einem weichmagnetischen Anker (2), der mit dem Stellglied antriebskoppelbar ist und der

mehrere Ankerflächen (5, 6) aufweist,

- mit mehreren weichmagnetischen Polelementen (7), die mehrere Polflächen (8, 9) aufweisen, an denen die Ankerflächen (5, 6) in zwei Endstellungen des Ankers (2) zur Anlage kommen,

- mit einer Rückstellereinrichtung (10), die den Anker (2) mittels Rückstellkraft in eine zwischen den Endstellungen liegende Ausgangsstellung antreibt,

- mit einer Halteeinrichtung (11), mit deren Hilfe der Anker (2) in seinen Endstellungen mittels elektromagnetischer Kräfte festlegbar ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Halteeinrichtung (11) mehrere elektromagnetische Spulen (12) sowie eine Leistungselektronik zum Steuern bzw. Regeln der Spulen (12) aufweist,

- **dass** eine gerade Anzahl von mindestens zwei Polelementen (7) vorgesehen ist,

- **dass** jedem Polelement (7) eine separate elektromagnetische Spule (12) zugeordnet ist,

- **dass** die Halteeinrichtung (11) zum Festlegen des Ankers (2) in dessen Endstellungen die Spulen (12) so bestromt, dass die Polflächen (8, 9) benachbarter Polelemente (7) gegensinnig gepolt sind.

2. Stellantrieb nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** in jeder Endstellung ein Magnetkreis ausgebildet ist, der jedes Polelement (7) über den Anker (2) mit den benachbarten Polelementen (7) verbindet.

3. Stellantrieb nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Halteeinrichtung (11) in beiden Endstellungen des Ankers (2) die Spulen (12) zum Festlegen des Ankers (2) mit gleichbleibender Polung bestromt.

4. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

**dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** der Anker (2) zwischen seinen Endstellungen um eine Drehachse (4) drehverstellbar gelagert ist,

- wobei vorzugsweise die Polelemente (7) bezüglich der Drehachse (4) umfangsmäßig verteilt angeordnet und/oder radial ausgerichtet sind.

5. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** genau vier Polelemente (7) und genau vier Spulen (12) vorgesehen sind.

6. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,**

- **dass** die Polelemente (7) unsymmetrisch angeordnet oder ausgestaltet sind, so dass der in seiner Ausgangsstellung ruhende Anker (2) bei einer Bestromung der Spulen (12) in Richtung der einen Endstellung stärker angezogen wird als in der Gegenrichtung, und/oder
- **dass** der Anker (2) unsymmetrisch ausgestaltet ist, so dass der in seiner Ausgangsstellung ruhende Anker (2) bei einer Bestromung der Spulen (12) in Richtung der einen Endstellung stärker angezogen wird als in der Gegenrichtung, und/oder
- **dass** die Ausgangsstellung unsymmetrisch zwischen den Endstellungen angeordnet ist, so dass der in seiner Ausgangsstellung ruhende Anker (2) bei einer Bestromung der Spulen (12) in Richtung der einen Endstellung stärker angezogen wird als in der Gegenrichtung.
7. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, **dass** jedes Polelement (7) zwei Polflächen (8, 9) aufweist, die jeweils einer der Endstellungen des Ankers (2) zugeordnet sind.
8. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**,
- **dass** alle Polelemente (7) an einem gemeinsamen Jochkörper (14) ausgebildet sind,
- wobei vorzugsweise der Jochkörper (14) bezüglich einer Drehachse des Ankers (2) rotationssymmetrisch gestaltet und/oder aus mehreren Lagen eines weichmagnetischen Blechs oder Kompositmaterials aufgebaut ist.
9. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**,
- **dass** der Anker (2) in einem Ankerraum (16) angeordnet ist,
- **dass** jede Spule (12) in einem zum Ankerraum (16) hin offenen Spulenraum (17) angeordnet ist,
- **dass** die Spulen (12) und der Ankerraum (16) so aufeinander abgestimmt sind, dass die Spulen (12) in einem fertig gewickelten Zustand bei fehlendem Anker (2) in den Ankerraum (16) und von diesem in den jeweiligen Spulenraum (17) einführbar sind.
10. Stellantrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**,
- **dass** der Anker (2) für jedes Polelement (7) einen Flügel (18) aufweist, der bezüglich einer Drehachse (4) des Ankers (2) radial vorsteht,
- wobei vorzugsweise die Flügel (18) je zwei An-

kerflächen (5, 6) aufweisen, die jeweils einer der Endstellungen des Ankers (2) zugeordnet sind, und/oder die Flügel bezüglich der Drehachse (4) umfangsmäßig verteilt angeordnet sind.

## Claims

1. An electromagnetic actuator drive for adjusting a final controlling element among at least three positions, comprising
  - a soft magnetic armature (2) which is drive-coupleable to the final controlling element and has a plurality of armature faces (5, 6),
  - a plurality of soft magnetic pole elements (7), each having a plurality of pole faces (8, 9) on which the armature faces (5, 6) come to rest in two end positions of the armature (2),
  - a restoring device (10) which drives the armature (2) by means of a restoring force into a starting position between the end positions,
  - a holding device (11) with the help of which the armature (2) can be secured in its end positions by means of electromagnetic forces, **characterized in that**
    - the holding device (11) comprises several electromagnetic coils (12) and electronic power equipment for controlling and/or regulating the coils (12),
    - an even number of at least two pole elements (7) is provided,
    - a separate electromagnetic coil (12) is assigned to each pole element (7),
    - the hold device (11) applies electric current to the coils (12) for securing the armature (2) in its end positions so that the pole faces (8, 9) of neighboring pole elements (7) are oppositely polarized.
2. The actuator drive according to Claim 1, **characterized in that** a magnetic circuit is formed in each end position, connecting each pole element (7) to the neighboring pole elements (7) across the armature (2).
3. The actuator drive according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the holding device (11) applies electricity of uniform polarity to the coils (12) in both end positions of the armature (2) to secure the armature (2).
4. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 3, **characterized in that**
  - the armature (2) is mounted to be adjustable between its end positions rotatably about an axis

- of rotation (4),  
 - wherein preferably with regard to the axis of rotation (4) the pole elements (7) are distributed around the circumference and/or are aligned radially. 5
5. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 4,  
**characterized in that**  
 exactly four pole elements (7) and exactly four coils (12) are provided. 10
6. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 5,  
**characterized in that** 15
- the pole elements (7) arranged asymmetrically or designed to be asymmetrical so that the armature (2) which is resting in its starting position is attracted more strongly when the electricity applied to the coils (12) is acting in the direction of the one end position than in the opposite direction, and/or 20
- the armature (2) is designed to be asymmetrical so that the armature (2) which is stationary in its starting position is attracted more strongly when the electricity applied to the coils (12) is acting in the direction of the one end position than in the opposite direction, and/or 25
- the starting position is arranged asymmetrically between the end positions so that the armature (2) which is stationary in its starting position is pulled more strongly when current is applied to the coils (12) in the direction of the one end position than in the opposite direction. 30 35
7. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 6,  
**characterized in that**  
 each pole element (7) has two pole faces (8, 9) each being assigned to one of the end positions of the armature (2). 40
8. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 7,  
**characterized in that** 45
- all the pole elements (7) are formed on a common yoke body (14),  
 - wherein preferably the yoke body (14) is designed to be rotationally symmetrical with regard to an axis of rotation of the armature (2) and/or is constructed from multiple layers of a soft magnetic sheet metal or a composite material. 50
9. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 8,  
**characterized in that** 55

- the armature (2) is arranged in an armature space (16),  
 - each coil (12) is arranged in a coil space (17) that is open toward the armature space (16),  
 - the coils (12) and the armature space (16) are coordinated with one another so that the coils (12) in a completely wound state can be inserted into the armature space (16) when the armature (2) is not present and can be inserted from this space into the respective coil space (17).

10. The actuator drive according to any one of Claims 1 through 9,  
**characterized in that**

- the armature (2) has a wing (18) for each pole element (7), said wing protruding radially with respect to an axis of rotation (4) of the armature (2), and/or  
 - wherein preferably the wings (18) each have two armature faces (5, 6) each being assigned to one of the end positions of the armature (2) and/or are distributed around the circumference with regard to the axis of rotation (4).

## Revendications

1. Actionneur électromagnétique pour régler un élément de commande entre au moins trois positions,
- comportant une ancre (2) magnétique douce, qui peut être couplée en entraînement avec l'élément de commande et présente plusieurs surfaces d'ancrage (5, 6),  
 - comportant plusieurs éléments de pôles (7) magnétiques doux, qui présentent plusieurs surfaces de pôles (8, 9), sur lesquelles les surfaces d'ancrage (5, 6) viennent reposer à deux positions finales de l'ancre (2),  
 - comportant un dispositif de rappel élastique (10), qui entraîne l'ancre (2) au moyen d'une force de rappel élastique dans une position de départ située entre les positions finales,  
 - comportant un dispositif de retenue (11), à l'aide duquel l'ancre (2) peut être immobilisée dans ses positions finales au moyen de forces électromagnétiques,  
**caractérisé en ce que**  
 - le dispositif de retenue (11) présente plusieurs bobines (12) électromagnétiques ainsi qu'une électronique de puissance pour commander, resp. réguler les bobines (12),  
 - un nombre égal d'au moins deux éléments de pôles (7) est prévu,  
 - chaque élément de pôle (7) est coordonné à une bobine (12) électromagnétique séparée,  
 - le dispositif de retenue (11) alimente en courant

les bobines (12) afin d'immobiliser l'ancre (2) dans ses positions finale, de telle sorte que les surfaces de pôles (8, 9) d'éléments de pôles voisins (7) soient polarisés de manière opposée.

2. Actionneur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** dans chaque position finale, un circuit magnétique est réalisé, qui relie chaque élément de pôle (7) par l'intermédiaire de l'ancre (2) aux éléments de pôles voisins (7).

3. Actionneur selon les revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le dispositif de retenue (11) dans deux positions finales de l'ancre (2) alimente en courant les bobines (12) afin d'immobiliser l'ancre (2) avec une polarité constante.

4. Actionneur selon une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**

- l'ancre (2) est positionnée de manière réglable en rotation entre ses positions finales autour d'un axe de rotation (4),
- dans lequel de préférence les éléments de pôles (7) sont repartis sur la circonférence et/ou sont alignés radialement par rapport à l'axe de rotation (4).

5. Actionneur selon une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** exactement quatre éléments de pôles (7) et exactement quatre bobines (12) sont prévus.

6. Actionneur selon une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que**

- les éléments de pôles (7) sont disposés ou conçus asymétriquement, de sorte que l'ancre (2) reposant dans sa position de départ lors d'une alimentation en courant des bobines (12) soit tirée plus fortement dans la direction d'une des positions finales que dans la direction opposée, et/ou
- l'ancre (2) est conçue asymétriquement, de sorte que l'ancre (2) reposant dans sa position de départ lors d'une alimentation en courant des bobines (12) soit tirée plus fortement dans la direction d'une des positions finales que dans la direction opposée, et/ou
- la position de départ est disposée asymétriquement entre les positions finales, de sorte que l'ancre (2) reposant dans sa position de départ lors d'une alimentation en courant des bobines (12) soit tirée plus fortement dans la direction d'une des positions finales que dans la direction opposée.

7. Actionneur selon une des revendications 1 à 6, **ca-**

**ractérisé en ce que** chaque élément de pôle (7) présente deux surfaces de pôles (8, 9), qui sont respectivement coordonnées à une des positions finales de l'ancre (2).

8. Actionneur selon une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que**

- tous les éléments de pôles (7) sont réalisés sur un corps de culasse (14) commun,
- dans lequel de préférence le corps de culasse (14) est conçu de manière symétrique en rotation par rapport à un axe de rotation de l'ancre (2) et/ou est composé de plusieurs couches d'une tôle magnétique douce ou d'un matériau composite.

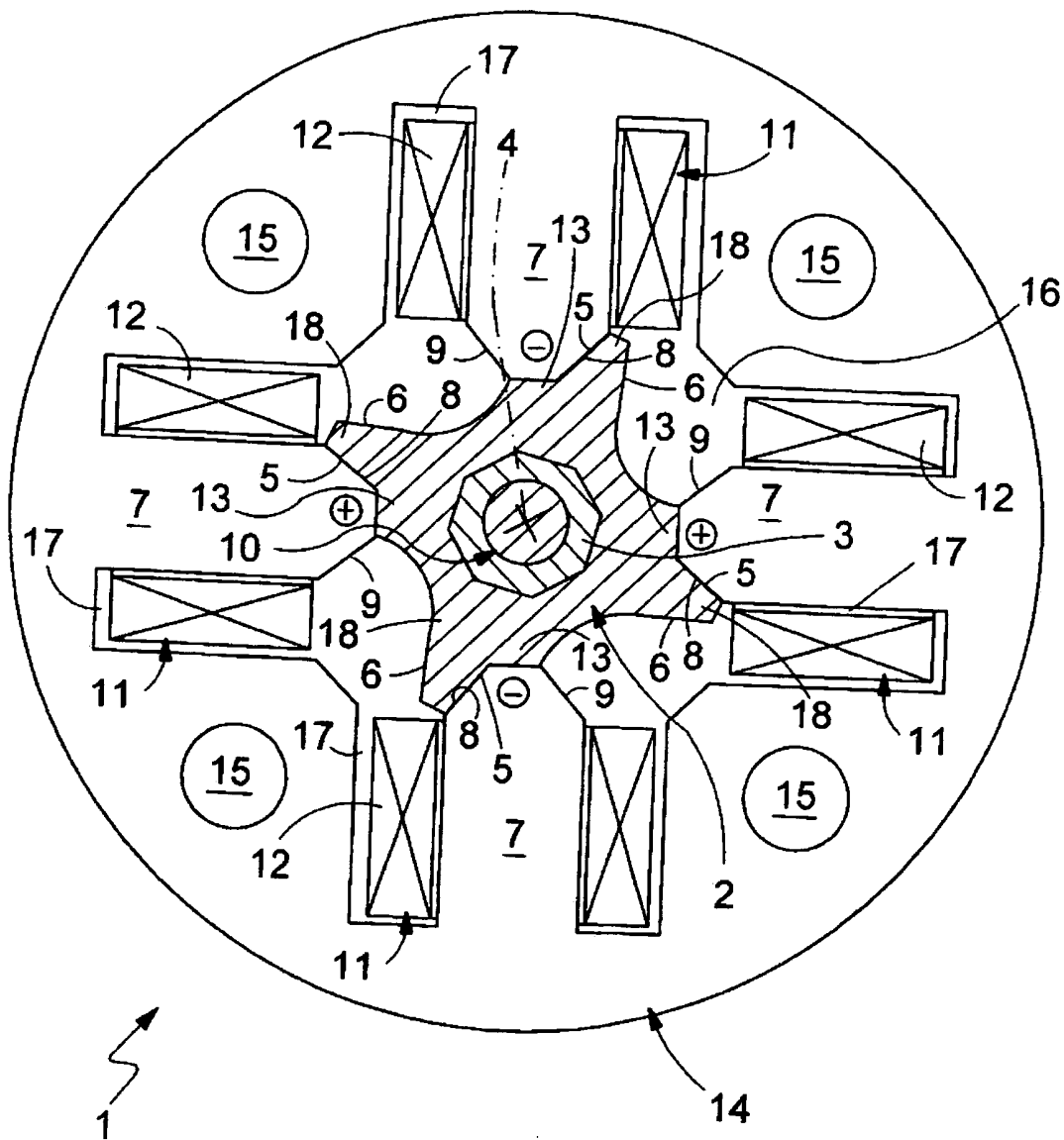
9. Actionneur selon une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que**

- l'ancre (2) est disposé dans un espace d'ancre (16),
- chaque bobine (12) est disposée dans un espace de bobine (17) ouvert dans la direction de l'espace d'ancre (16),
- les bobines (12) et l'espace d'ancre (16) sont harmonisées les unes par rapport aux autres, de sorte que les bobines (12) dans un état d'enroulement fini puissent être déplacées, quand l'ancre (2) est manquante, dans l'espace d'ancre (16) et de celui-ci dans l'espace de bobine (17) respectif.

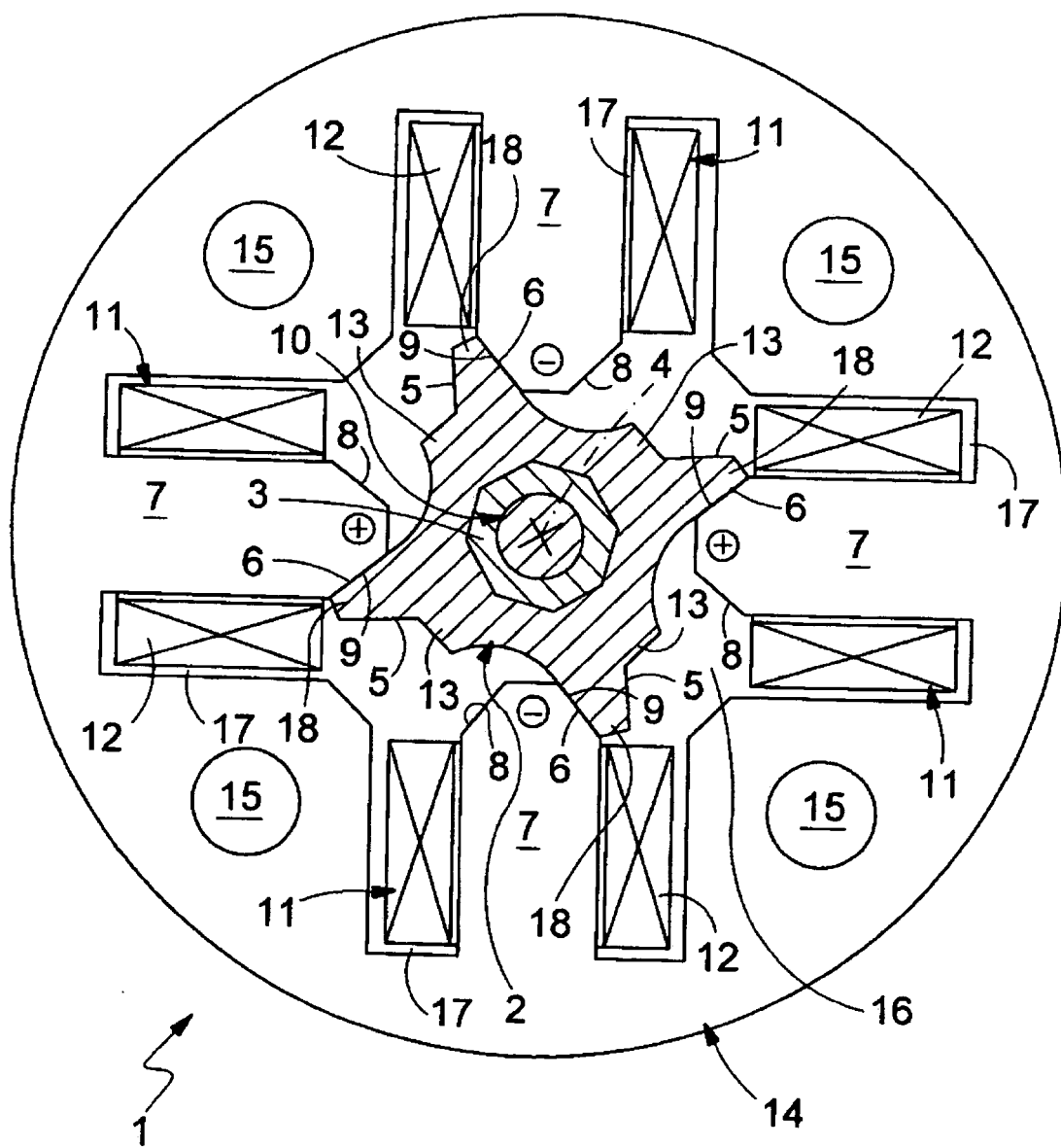
10. Actionneur selon une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que**

- l'ancre (2) pour chaque élément de pôle (7) présente une pale (18), qui dépasse radialement par rapport à un axe de rotation (4) de l'ancre (2),
- dans lequel de préférence les pales (18) présentent chacune deux surfaces d'ancrage (5, 6), qui sont respectivement coordonnée à une des positions finales de l'ancre (2), et/ou les pales sont disposées en étant réparties sur la circonférence par rapport à l'axe de rotation (4).





**Fig.1**



**Fig.2**

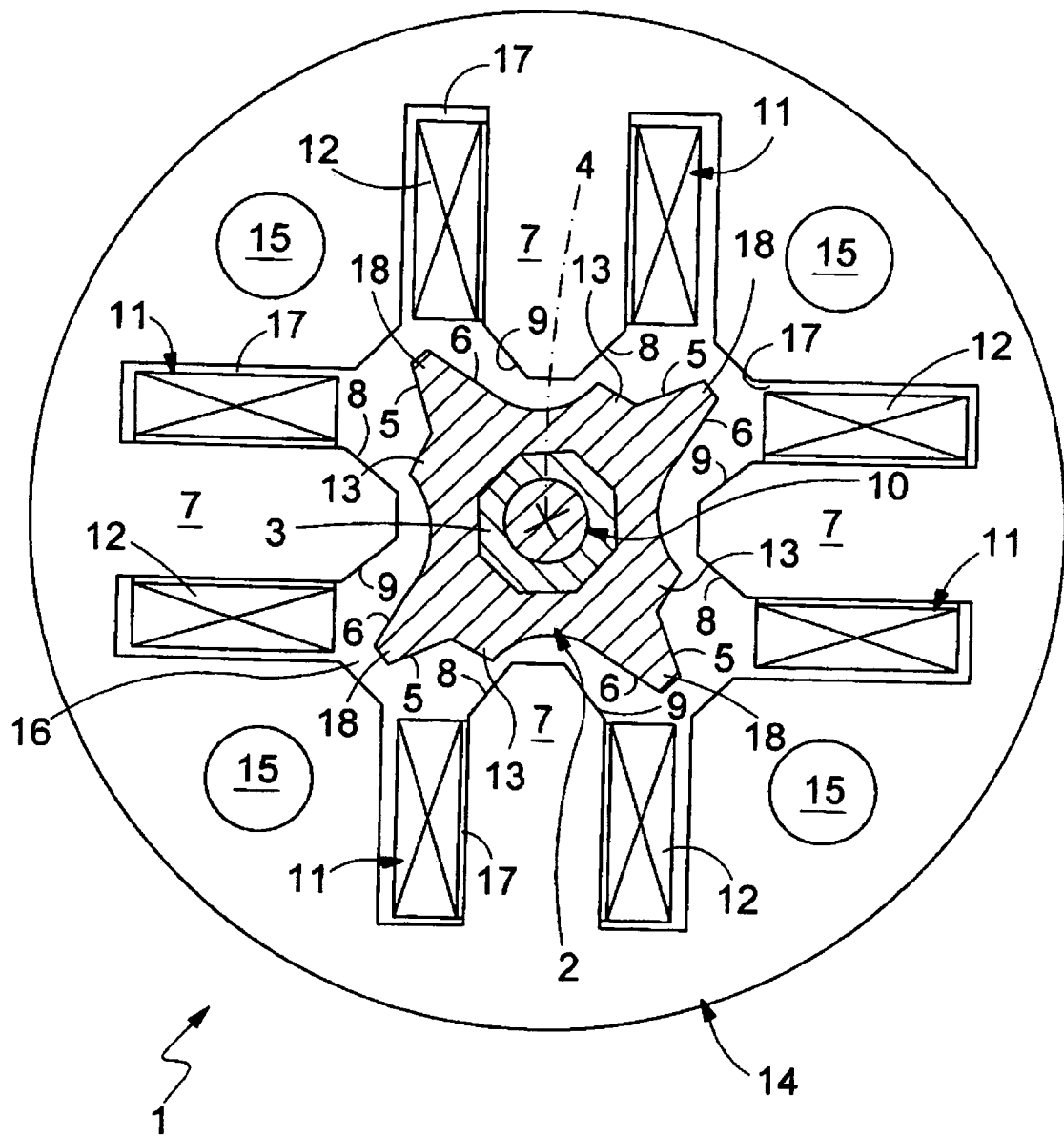


Fig.3

**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**

- DE 102004037360 A1 [0003]
- DE 10140706 A1 [0016]