

(12)

Patentschrift

(21)

Anmeldenummer:

A 50594/2016

(22)

Anmeldetag:

04.07.2016

(45)

Veröffentlicht am:

15.08.2018

(51)

Int. Cl.:

H02K 16/00

(2006.01)

H02K 16/02

(2006.01)

H02K 7/116

(2006.01)

H02K 7/10

(2006.01)

(56)

Entgegenhaltungen:

DE 102013213847 A1

WO 2004047256 A1

EP 0721248 A2

(73)

Patentinhaber:

Technische Universität Wien

1040 Wien (AT)

(72)

Erfinder:

Schrödl Manfred Dr.

7223 Siegraben (AT)

(74)

Vertreter:

Sonn & Partner Patentanwälte

1010 Wien (AT)

(54)

Elektrisches Maschinensystem

(57)

Elektrisches Maschinensystem mit einer vorzugsweise geradzahligen Anzahl von mechanisch und elektrisch verkoppelten Teilmaschinen (1-4), die gemeinsame magnetische Abschnitte und gemeinsame Spulen (SP1-SP4) aufweisen und über mechanische Getriebe (P1-P4; 12, 14) verbunden sind, wobei benachbarte Teilmaschinen (1-6) zueinander entgegengesetzte Drehrichtungen bei betragsmäßig gleichen Drehzahlen aufweisen, wobei die Drehrichtungsumkehr benachbarter Teilmaschinen (1-4) durch je ein Innen- und ein Außenzahnrad (P2, P4 bzw. P1, P3) realisiert ist, wobei eine Drehrichtungsgruppe ein zentrales Zahnrad (Z1) mit Außenverzählung und die andere Drehrichtungsgruppe ein zentrales Zahnrad (Z2) mit Innenverzählung aufweist, wobei die Übersetzungsverhältnisse der beiden Gruppen gleich sind, und wobei die Spulen (SP1-SP4) zu einem Drehstrom-Wicklungssystem beliebiger Strangzahl, vorzugsweise einem dreisträngigen Wicklungssystem, verschaltet sind.

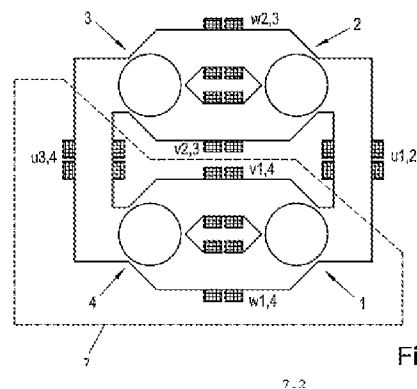


Fig. 8

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein elektrisches Maschinensystem mit einer vorzugsweise geradzahligen Anzahl von mechanisch und elektrisch verkoppelten Teilmaschinen, die gemeinsame magnetische Abschnitte und gemeinsame Spulen aufweisen und über mechanische Getriebe verbunden sind, wobei benachbarte Teilmaschinen zueinander entgegengesetzte Drehrichtungen bei betragsmäßig gleichen Drehzahlen aufweisen.

[0002] Elektrische Antriebe mit Getriebestufen werden häufig mit einer elektrischen Maschine, wie einer Permanentmagnet- oder elektrisch erregten Synchronmaschine, Asynchronmaschine, Reluktanzmaschine und dergleichen ausgeführt, an deren Ausgangswelle ein ein- oder mehrstufiges Getriebe mechanisch angeschlossen ist. Beispielsweise ist in DE 4 334 590 A1 ein Elektromotor mit einer Hohlwelle geoffenbart, der mit einem ein Stirnrad aufweisenden Differenzialgetriebe verbunden ist, dessen eine Abgangswelle durch die Hohlwelle des Elektromotors geführt ist. Ein Stirnradgetriebe hat aber den Nachteil, dass jeweils nur ein Zahnflankenpaar die Kräfte bzw. das Drehmoment auf die folgende Welle überträgt. Eine Aufteilung der Kräfte auf mehrere Zahnflankenpaare würde ein Planetengetriebe mit mehreren Planetenrädern ermöglichen, wobei aber für eine gleichmäßige Aufteilung der Kräfte auf die einzelnen Planeten eine präzise mechanische Fertigung erforderlich ist, sodass eine solche Lösung aufwändig ist. Außerdem weisen die Planeten in Planetengetrieben typischerweise zwei Kontaktstellen an Zahnflanken auf, an denen durch Gleitbewegungen Getriebeverluste produziert werden.

[0003] Weiters sind gemäß dem Stand der Technik auch Motoren mit mehreren Rotoren und einem gemeinsamen Statorfeld bekannt, die parallele Rotationsachsen aufweisen. Als Beispiel sei EP 0 721 248 A2 genannt, wo drei Rotoren von einem gemeinsamen Statorfeld in Rotation versetzt werden, wobei die Rotoren ohne gegenseitige mechanische Verbindung rotieren, wie dies etwa in Rasierapparaten üblich ist. Dies hat den Nachteil, dass keine vorzugsweise drehmomenterhöhende Getriebestufe vorhanden ist.

[0004] Eine weitere Variante mit mehreren parallelen Rotoren ist in WO 2004/047256 angegeben. Dort treibt ein Getrieberad mehrere Rotoren an, die in die gleiche Richtung rotieren. Dies hat den Nachteil, dass jeder Rotor einen voll ausgebildeten Stator benötigt, weil keine materialreduzierenden geometrischen Vereinfachungen im Statoraufbau vorgenommen werden können.

[0005] Eine andere Anordnung mit mehreren Rotoren und gemeinsamem Stator ist in DE 10 2009 010 162 A1 gezeigt. Dabei sind mehrere Rotoren in Form einer Matrix angeordnet, wobei alle Wellen in gleiche Richtung drehen, wodurch eine komplizierte Statorgeometrie nötig ist.

[0006] Eine ähnliche Lösung ist in US 5,780,950 A angegeben, wo ebenfalls mehrere Rotoren mit einem gemeinsamen Stator wechselwirken, wobei die Statorspulenenden zu jeweils einem anderen Rotor gerichtet sind, die Spulen also an ihren Enden verschiedenen Rotoren benachbart sind. Nachteilig ist, dass alle Rotoren zwar mit einer Getriebestufe (Fig. 39, Fig. 41) mechanisch verbunden sind, aber in gleiche Richtung rotieren und deswegen von der Charakteristik Einphasenmaschinen mit schwankendem Drehmoment sind, die eine ungleichförmige Momenteneinleitung in das verbindende Getriebe bewirken. Es kann keine Dreiphasen-Drehstromanordnung erzeugt werden, die ein gleichmäßiges Moment pro Teilrotor einspeisen könnte.

[0007] Eine weitere Anordnung mit mehreren parallelen Rotoren und einen auf mehrere Rotoren wirkenden Magnetkreis ist in EP 0 678 966 A1 angegeben. Allerdings erfordert die hier gegebene Geometrie komplizierte verteilte Spulensysteme, wodurch ein komplizierter Statoraufbau nötig ist und außerdem kein Getriebe mit vorzugsweise drehmomenterhöhender gemeinsamer Abtriebswelle gegeben ist.

[0008] Schließlich ist auch in DE 20 06 386 C1 eine Multi-Rotor-Anordnung dargestellt, die mit einem Drehfeld eines gemeinsamen Ständersystems zusammenwirkt. Aufgrund der matrixartigen Anordnung (z.B. Fig. 1b) ist kein wirtschaftlich aufgebautes Getriebe zur Verbindung der Rotoren möglich und aufgrund der Zielanwendungen (Zentrifugen) auch nicht angestrebt.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es, ein elektrisches Maschinensystem wie eingangs ausgeführt zu schaffen, bei dem einerseits die oben genannten Nachteile vermieden werden und das andererseits aufgrund einer neuen Maschinenstruktur wirtschaftlicher arbeitet bzw. betrieben werden kann.

[0010] Diese Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst, die ein elektrisches Maschinensystem gemäß den beiliegenden Ansprüchen vorsieht.

[0011] Die Erfindung sieht somit vor allem eine Anordnung von mehreren elektrischen Teilmaschinen vor, wobei benachbarte Teilmaschinen mit betragsmäßig gleicher Drehzahl, aber entgegengesetzter Drehrichtung rotieren, die mechanisch über ein Getriebe verbunden sind. Dadurch sind zwei wesentliche Vorteile gegeben, und zwar einerseits eine kompakte Konstruktion des aus den elektrischen Teilmaschinen bestehenden Maschinensystems, da aufgrund der geometrischen Anordnung gewisse Teile der Teilmaschine weggelassen werden können, weil sich magnetische Flussanteile von benachbarten Teilmaschinen stückweise kompensieren und damit magnetisch aktives Material eingespart bzw. erübrigt werden kann. Andererseits kann die mechanische Kopplung der Teilmaschinen vorteilhafterweise als mechanisches Planetengetriebe mit einem gewünschten Übersetzungsverhältnis ausgeführt werden, wodurch Komponenten des Planetengetriebes, wie Lagerung, Kupplungen und Gehäuseteile, gegenüber einem diskreten Aufbau aus elektrischer Maschine und funktionell getrenntem Planetengetriebe eingespart bzw. doppelt genutzt werden können. Außerdem weisen beim vorliegenden Maschinensystem die mit den Teilmaschinen verbundenen Planeten nur einen Kontakt auf der Zahnflanke auf, wodurch die Verluste gegenüber einem normalen Planetengetriebe deutlich reduziert werden können.

[0012] Die vorliegende Anordnung hat weiters den Vorteil, dass die elektrischen Teilmaschinen unabhängig von der mechanischen Fertigungstoleranz die Teilmomente bzw. -kräfte, die sie entwickeln, auf ein dem Teilmotor durch direkte mechanische Verbindung zugeordnetes Planetenrad übertragen. Demgemäß entfällt hier das Aufsplitten eines einzelnen Wellendrehmoments der elektrischen Maschine über ein Zahnrad auf Planeten, das Drehmoment wird vielmehr direkt durch die Teilmaschinen gesplittet. Somit kann die jeweilige Leistung der Teilmaschine auf $1/n$ -tel (n = Anzahl der Planetenräder bzw. der Teilmaschinen) im Vergleich zur Leistung der dem Stand der Technik entsprechenden zugeordneten einzelnen Elektromaschine aufgeteilt werden. Neben der stark vereinfachten Konstruktion ergibt sich daraus ein weiterer bemerkenswerter Vorteil: Da erfahrungsgemäß bei Hochdrehzahlantrieben hauptsächlich die Umfangsgeschwindigkeit mit einigen 100 m/s aus Festigkeitsgründen begrenzt ist, kann bei gleicher begrenzter Umfangsgeschwindigkeit der Teilrotoren in das gleiche Volumen deutlich mehr elektrische Leistung installiert werden. Splittet man beispielsweise einen Rotor in vier Teilrotoren auf, die die gleiche Rotor-Gesamtfläche haben, so haben die Teilrotoren den halben Durchmesser des ursprünglichen Rotors. Unterstellt man den gleichen spezifischen Schub pro Fläche im Luftspalt, so bedeutet der halbe Durchmesser bzw. der halbe Umfang des ursprünglichen Rotors den halben Schub pro Teilrotor. Multipliziert mit dem halben Radius des ursprünglichen Rotors liefert jeder Teilrotor somit ein Viertel des ursprünglichen Drehmomentes, in Summe liefert die Aufspaltung in flächenneutrale Teilrotoren das gleiche Drehmoment, die gleiche Leistung wird also durch die gleiche Drehzahl der Teilrotoren wie ursprünglich möglich. Die gleiche Leistung ist daher beim vorliegenden System mit der halben Umfangsgeschwindigkeit erzielbar, und somit wird ein großer Vorteil bei der mechanischen Realisierung erhalten. Es gibt also im Prinzip noch eine Reserve, um die Drehzahl und damit die installierte Leistung zu verdoppeln, um auf die gleiche Umfangsgeschwindigkeit zu kommen.

[0013] Von Vorteil ist weiters auch, dass die die mechanische Kopplung herbeiführende Getriebefunktion zur Darstellung eines Übersetzungsverhältnisses von Rotordrehzahl zu Getriebeabtriebsdrehzahl genutzt werden kann. Auch ist günstig, dass die Spulen des Mehrmaschinensystems zu einem Drehstrom-Wicklungssystem beliebiger Strangzahl, vorzugsweise einem dreisträngigen Drehstrom-Wicklungssystem, verschaltet werden können.

[0014] Die Rotoren der Teilmaschinen können synchron laufende Typen sein, und zwar mit

beispielsweise Permanentmagnetanregung, elektrischer Erregung und/oder Reluktanzcharakter usw. Andererseits können die Teilmaschinen auch asynchron laufende Rotoren haben, wie z.B. Kurzschlussläufer und/oder Schleifringläufer oder dgl.

[0015] Die Ansteuerung des Spulensystems kann mit Vorteil über leistungselektronische Stellglieder nach an sich bekannten Steuerverfahren für Drehstrommaschinen erfolgen; weiters ist es möglich, eine mittlere elektrische Rotorposition der Teilmaschinen über sensorlose Verfahren, insbesondere auf Basis mathematischer Modelle, zu ermitteln. Als Beispiel sei AT 508 854 B erwähnt. Weiters werden mathematische Modelle in Schrödl, M. „Sensorless Control of A.C. machines“, Fortschrittsbericht VDI, Reihe 21, Nr. 117 (VDI-Verlag Düsseldorf 1992) angegeben.

[0016] Die mechanische Verkopplung der Teilmaschinen kann in an sich bekannter Weise auch derart sein, dass eine resultierende lineare Bewegung erzielt wird. Für eine einfache Einstellung ist es auch von Vorteil, wenn die mittleren Winkellagen der in verschiedenen Richtungen rotierenden Teilmaschinen im Betrieb relativ zueinander mechanisch verändert werden können.

[0017] Das Maschinensystem kann eine Welle aufweisen, die ein Getriebeelement bzw. mehrere Getriebeelemente trägt, wobei das Getriebeelement bzw. die Getriebeelemente die Teilmaschinen mechanisch verkoppelt bzw. verkoppeln, wobei die Welle mit einem Differenzialgetriebe mechanisch funktionell verbunden ist; vorzugsweise ist dabei, um Platz zu sparen, die Welle als Hohlwelle ausgeführt.

[0018] Die Erfindung wird nun nachfolgend anhand von in der Zeichnung dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispielen noch weiter erläutert. Im Einzelnen zeigen in der Zeichnung:

[0019] Fig. 1 schematisch ein Maschinensystem mit vier Teilmaschinen;

[0020] Fig. 2 eine schematische, gegenüber Fig. 1 vereinfachte Struktur eines solchen Maschinensystems mit vier Teilmaschinen;

[0021] Fig. 3 ein gegenüber Fig. 1 weiter in der Konstruktion vereinfachtes Maschinensystem in schematischer Darstellung;

[0022] Fig. 4 ein Beispiel für eine mechanische Kopplung, hier mit ausschließlich außenverzahnten Zahnrädern;

[0023] Fig. 5 ein modifiziertes Planetengetriebe, mit Drehrichtungsumkehr benachbart der zugehörigen Teilmaschine;

[0024] Fig. 6a ein Schema eines Maschinensystems mit vier Teilmaschinen, wobei die Rotoren dieser Maschinen so ausgerichtet sind, dass sie alle eine waagrechte magnetische Achse aufweisen;

[0025] Fig. 6b ein vergleichbares Schema eines Maschinensystems, bei dem sich jedoch in allen vier Teilmaschinen jeweils eine senkrechte magnetische Achse einstellt;

[0026] Fig. 7 ein weiteres Schema eines Maschinensystems mit vier Teilmaschinen, mit einer modifizierten Spulenanordnung;

[0027] Fig. 8 eine weiter modifizierte schematische Anordnung eines solchen Maschinensystems mit vier Teilmotoren, wobei nun jeweils zwei Spulen nebeneinander liegen;

[0028] Fig. 9 ein Schema entsprechend jenem vom Fig. 8, jedoch mit drei Spulensystemen anstatt zwei Spulensystemen, wie in Fig. 8 gezeigt;

[0029] Fig. 10 in Weiterentwicklung des Systems von Fig. 8 ein Schema eines Linearantriebs; und

[0030] Fig. 11 schematisch ein im vorliegenden Zusammenhang mit Vorteil anwendbares Differenzialgetriebe.

[0031] Im Folgenden werden eine zweisträngige und eine dreisträngige Struktur, ausgehend von je vier Teilmaschinen 1, 2, 3, 4, zu einem vorteilhaft aufgebauten zwei- bzw. dreisträngigen

Planetenmotor umgeformt.

[0032] In Fig. 1 sind die vier Teilmaschinen 1, 2, 3, 4 beispielsweise mit permanentmagneterregten Rotoren RO1 bis RO4, dargestellt. Die Rotoren RO1 bis RO4 sind z.B. gemäß Fig. 1 so magnetisiert, dass sich jeweils eine waagrechte Magnetisierungsrichtung $N \rightarrow S$ einstellt, wobei die oberen Teilmotoren 1, 2 die Magnetisierungsrichtung N-S von rechts nach links und die unteren Teilmotoren 3, 4 die Magnetisierungsrichtung von links nach rechts (gemäß der Darstellung in Fig. 1) aufweisen. Die Feldbilder sind symbolisch mit Pfeilen bzw. Linien vereinfacht eingetragen.

[0033] Fordert man nun, dass sich bei einer 90° -Drehung etwa des rechten unteren Rotors RO1 in mathematisch positiver Richtung die anderen Rotoren, RO2, RO3, RO4 so drehen sollen, dass ein Feldbild entsteht, das gegenüber dem Ausgangsfeldbild durch Drehen des gesamten Bildes von Fig. 1 um 90° erzeugt werden kann, so gelingt dies, wenn die diagonal gegenüberliegenden Rotoren, z.B. RO1 und RO3, gleichartig rotieren und die jeweils verbleibenden zwei Rotoren, z.B. RO2 und RO4, mit gleicher Winkelgeschwindigkeit im Gegensinn rotieren. Dies kann verallgemeinert werden, wenn eine Matrix von $2 \cdot n$ ($n=1, 2, \dots$) Teilmaschinen 1, 2, 3, 4 ... aufgebaut wird, deren Nachbarn stets in die Gegenrichtung mit gleicher Winkelgeschwindigkeit rotieren. Durch diese Konstruktionsvorschrift wird erreicht, dass man die Struktur vereinfachen kann: Bringt man die z.B. vier Teilmotoren 1 bis 4 nun in Kontakt, so heben sich in benachbarten Abschnitten der Teilmotoren 1 bis 4 gemäß Fig. 1 die benachbarten Flüsse auf, was in Fig. 1 mit $\Sigma\Phi=0$ angedeutet ist. Damit können die entsprechenden magnetischen Teile eingespart bzw. erübrigt werden, wodurch eine Reduktion des nötigen Aktivmaterials im magnetischen Kreis erzielt wird, vgl. auch Fig. 2, die ein vereinfachtes prinzipielles Schema, ohne Darstellung von Systemen und Feldlinien, zeigt. Nun kann man noch die äußeren Rückschlussbereiche umordnen, ohne die Luftspaltfelder der vier Teilmaschinen 1 bis 4 zu verändern, wodurch sich die Anordnung gemäß Fig. 3 ergibt. Die in Fig. 3 strichlierten Bereiche und Feldlinien der „alten“ Struktur (gemäß Fig. 1) werden „umgeleitet“, wodurch die neuen (in Fig. 3 durchgezogenen) Wege von Feldlinien - z.B. F2/3 und F1/4 - entstehen, ohne das Feldbild im jeweiligen Luftspaltbereich zu verändern. Weiters sind in Fig. 3 die Spulensysteme der vier Teilmaschinen 1 bis 4 eingetragen (je vier Spulen SP1 bis SP4 pro Teilmaschine 1, 2, 3 bzw. 4, d.h. insgesamt also 16 Spulen). Durch die neuen Wege der Feldlinien werden die Flussverketungen der Spulen nicht verändert. Nun kann man jeweils zwei Spulen von benachbarten Teilmaschinen, die vom gleichen Fluss durchflossen werden, zu jeweils einer Spule zusammenfassen, z.B. also die Spulen Sp1 und Sp3 der Teilmaschinen 3 und 4 in Fig. 3, ohne die Funktionalität der Anordnung zu ändern. Dadurch kann in vorteilhafter Weise das Spulensystem der vier Teilmaschinen 1 bis 4 von 16 auf insgesamt 8 Spulen reduziert und damit eine wesentlich einfachere Struktur gegenüber der Ausgangsstruktur erzielt werden.

[0034] Alternativ kann anstatt der in Fig. 3 gezeigten zweisträngigen Struktur eine analoge Struktur mit einem dreisträngigen Spulensystem hergeleitet werden. Dazu wird in Abänderung der Struktur von Fig. 1 von der zweisträngigen Struktur auf eine dreisträngige Ausgangsstruktur, bestehend wiederum aus vier Teilmaschinen 1 bis 4, gewechselt, vgl. Fig. 6a und 6b; jede der Teilmaschinen 1 bis 4 gemäß Fig. 6 trägt drei Spulen, in Summe trägt die Ausgangsstruktur gemäß Fig. 6 daher 12 Spulen. Es wird zur besseren Illustration wieder von permanentmagneterregten zweipoligen Rotoren ausgegangen. Es sind aber auch andere Rotoren, etwa mit reinem Reluktanzcharakter, mit elektrischer Erregung etc., denkbar.

[0035] In Fig. 6a sind die Rotoren RO1 bis RO4 der Teilmaschinen 1 bis 4 so ausgerichtet, dass sie alle eine waagrechte magnetische Achse $N \rightarrow S$ aufweisen. Es stellt sich ein schematisches Feldbild gemäß Fig. 6a ein, wobei durch die spezielle Anordnung der vier Teilmaschinen 1 bis 4 einige Teilbereiche aufgrund gegenseitiger Kompensation wieder keinen Fluss führen (in Fig. 6a beispielhaft für die Rotoren RO1 und RO2 mit $\Sigma\Phi=0$ angedeutet). Diese Teile werden in weiterer Folge weggelassen.

[0036] In Fig. 6b stellt sich in allen vier Teilmaschinen 1 bis 4 jeweils eine senkrechte magnetische Achse N-S ein. Dies wird hier dadurch erreicht, dass jeweils benachbarte Maschinen, z.B.

1/2, 2/3, 3/4 bzw. 4/1, mit entgegengesetzter Drehrichtung, aber betragsmäßig gleicher Drehzahl um $+90^\circ$ bzw. -90° verdreht werden.

[0037] In dieser Magnetfeldkonfiguration ergeben sich ebenfalls wieder Maschinenteile, in denen sich der Fluss in benachbarten Bereichen aufhebt ($\Sigma\Phi=0$) und die entsprechenden elektromagnetischen Teile somit weggelassen werden können.

[0038] Eine beliebige Magnetisierung entlang der möglichen verkoppelten Drehungen der Teilmaschinen 1 bis 4 kann durch eine Linearkombination von Teilfeldern gemäß Fig. 6a und 6b erzeugt werden. Bringt man nun die Teilmotoren 1 bis 4 in entsprechenden Kontakt und lässt die magnetisch unnötigen Teile weg, so ergibt sich die vereinfachte Struktur gemäß Fig. 7. Es sind noch die ursprünglichen Spulen (Strang u mit Spulen u1 bis u4, Stränge v und w analog) symbolisch eingezeichnet. Durch Umordnung von Flussführungsteilen kann ohne Änderung der Luftspaltfelder der Teilmotoren 1 bis 4 beispielsweise die weiter vereinfachte Struktur gemäß Fig. 8 erhalten werden. Die Spulen wurden entlang der magnetischen Pfade ohne Flussverkettingsänderung verschoben, sodass jeweils zwei Spulen nebeneinander zu liegen kommen (z.B. u_{1,2} oder w_{1,2} bis w_{2,3} etc. in Fig. 8). Die nebeneinander liegenden Teilspulen können nun jeweils zu einer einzelnen Spule zusammengefasst werden, wodurch sich die Zahl der Spulen von 12 auf 6 Spulen halbiert.

[0039] Die dreisträngige Anordnung gemäß Fig. 8 hat den Vorteil, dass übliche dreisträngige Umrichter zur Ansteuerung verwendet werden können. Die beiden jeweils zu einem Strang gehörigen Spulen, z.B. u1 bis u4 etc., können wahlweise in Serie oder parallel geschaltet werden, da sie ständig die gleichen Flussverkettings tragen. Sie können aber auch mit getrennten Umrichtern (nicht dargestellt) angesteuert werden, um beispielsweise eine Redundanz oder eine erhöhte Leistung zu ermöglichen. Die Steuerung der Umrichter erfolgt vorteilhafterweise gemäß an sich bekannten Steuerverfahren für Drehstrommaschinen, etwa der feldorientierten Regelung, wobei sich hier, da an sich bekannt, eine genauere Beschreibung erübrigen kann. Dabei kann häufig auf Drehgeber verzichtet werden, wenn sog. „sensorlose“ Verfahren, wie das an sich bekannte „INFORM®“-Verfahren oder EMK-Verfahren, eingesetzt werden. Für den Umrichter erscheint dann das „Multimotorsystem“ im Klemmenverhalten wie eine einzige elektrische Maschine.

[0040] In Fig. 8 ist strichliert eine Teilstruktur 7 eingetragen, die ein Grundelement für weitere Anordnungen mit 2m Teilmotoren, m=1, 2, 3, 4... ist. Als Beispiel ist in Fig. 9 eine Anordnung mit m=3, d.h. drei Teilstrukturen 7.1, 7.2 und 7.3 und sechs Teilmotoren, z.B. 1 bis 6 gezeigt (Spulen und Rotoren sind der Einfachheit halber nicht eingezeichnet). Damit kann beispielsweise ein Ringmotor mit zahlreichen Planeten oder auch ein Linearantrieb L (vgl. Fig. 10) realisiert werden. Im beispielhaften Linearantrieb L mit vier Teilmotoren 1, 2, 3, 4 gemäß Fig. 10 stellt eine beidseitig gezahnte Zahnstange ZS eine mechanische Kopplung der Teilmotoren 1 bis 4 dar.

[0041] Die mechanische Kopplung der beiden Strukturen (zweisträngig oder dreisträngig) kann in gleicher Weise mit formschlüssigen Verbindungen, vorzugsweise Zahnrädern, (alternativ Zahnriemen, Ketten etc.) erfolgen. Anzumerken ist, dass bei Rotoren, bei denen die Funktion unabhängig vom Rotorwinkel ist, wie etwa bei Asynchronmaschinen, auch eine reibschlüssige Verbindung zulässig ist.

[0042] In Fig. 4 ist ein Beispiel mit ausschließlich außenverzahnten Zahnrädern 12, 14 angegeben. Die zwei mit den Teilmaschinen 2 und 4 verbundenen Zahnräder 12 und 14 bewirken eine automatische Drehrichtungsumkehr von benachbarten Teilmaschinen. Jedes kleine Zahnrad 12, 14 (in Fig. 4 sind die Zahnräder als Doppelzahnräder ausgeführt) kann zu Realisierung eines Übersetzungsverhältnisses auf die Abtriebswelle A (in Fig. 4 im Zentrum der Anordnung sitzend) verwendet werden.

[0043] In Fig. 5 wird die Drehrichtungsumkehr benachbarter Teilmaschinen 1 bis 4 durch je ein Innen- und ein Außenzahnrad P2, P4 bzw. P1, P3 realisiert, wobei die eine Drehrichtungs-Gruppe ein zentrales Zahnrad Z1 mit Außenverzahnung und die andere Drehrichtungs-Gruppe

ein zentrales Zahnrad Z2 mit Innenverzahnung aufweist, wobei die Übersetzungsverhältnisse der beiden Gruppen gleich sind. Realisiert man die beiden Teilgetriebe in der gleichen Ebene, so wird die Gruppe, die in das innenverzahnte zentrale Zahnrad Z2 eingreift, soweit nach außen verschoben, dass keine Kollision der Zahnräder auftritt.

[0044] Die Achsen der Teilmaschinen 1 bis 4 liegen dann gemäß der beispielhaften Anordnung in Fig. 3 bzw. Fig. 7 nicht mehr in den Ecken eines Quadrates, sondern vorzugsweise in den Ecken eines Rhombus Rh (s. Fig. 5), wobei die Achsen auf der kurzen Diagonale des Rhombus über die Planetenräder P1, P3 in das außenverzahnte innere Zahnrad Z1 eingreifen, und die Achsen auf der langen Diagonale auf das innenverzahnte äußere Zahnrad Z2 eingreifen.

[0045] In Fig. 5 ist im Übrigen als Beispiel eine Übersetzung von $r1:R1 = r2:R2 = 1:6$ eingezeichnet. Prinzipiell ist auch eine umgekehrte Konstruktion möglich, d.h. die zwei Zahnreihen des zentralen Zahnradpaares sitzen innen und außen auf einem Kreisring („eine zu einem Kreisring gebogene doppelseitige Zahnstange“).

[0046] Lässt man den Radius des Kreisringes dann gegen unendlich gehen (gerade Zahnstange Z5), so ergibt sich ein Linearantrieb, s. auch Fig. 10.

[0047] Ordnet man die Zahnräder der zwei Drehrichtungsgruppen in verschiedenen Ebenen an (axial versetzt, ggf. auch auf der anderen Seite der Teilmaschinen möglich), so können die Achsen der Teilmaschinen 1 bis 4 weiterhin auf einem Quadrat (im Falle von vier Teilmaschinen 1 bis 4) bzw. allgemein auf einem gleichseitigen n-Eck angeordnet sein.

[0048] In einer besonderen Ausgestaltung ist der Relativwinkel zwischen den beiden Drehrichtungsgruppen durch eine geeignete Mechanik veränderbar. Beispielsweise können die fest verbundenen Zahnräder Z1 und Z2 von Fig. 5 eine (an sich bekannte) Schrägverzahnung aufweisen und durch eine Mechanik, die eine axiale Verschiebung der Zahnräder Z1 und Z2 gegenüber den eingreifenden Planetenrädern ermöglicht, axial bewegt werden. Durch die axiale Verschiebung kommt es zufolge der Schrägverzahnung zu einer Verdrehung des Relativwinkels zwischen den beiden Drehrichtungsgruppen. Damit werden die zwei Drehrichtungsgruppen zueinander verdreht, und es kann auf diese Weise etwa im Falle von permanentmagnet-erregten Rotoren eine geometrisch bedingte Feldschwächung ohne eine technisch übliche feldschwächende Statorstromkomponente realisiert werden. Damit kann beispielsweise ein Permanentmagnet-Synchronantrieb mit beliebiger Spannung während der Rotation, also auch einer Spannung Null, erzielt werden. Mit dieser axialen Bewegungsmöglichkeit können weiters auch andere Funktionen, wie z.B. eine Parkbremsfunktion, eine Sicherheitsfunktion „Klemmspannung Null“ etc., zusätzlich realisiert werden.

[0049] In einer weiteren Ausgestaltung, Fig. 11, wird eines der Zahnräder Z1 oder Z2 bzw. das mechanisch fest verbundene Zahnradpaar Z1/Z2 als rotierender Trägerteil eines Differenzialgetriebes D verwendet, in dem vorzugsweise zwei Kegelräder K1, K2 des Differenzialgetriebes D gelagert sind, die nicht mit den Abtriebswellen A1, A2 verbunden sind. Eine der beiden Abtriebswellen, die Welle A1, des Differenzialgetriebes D wird durch die als Hohlwelle ausgeführte zentrale Welle des Planetenmotors geführt, die mit den Zahnrädern Z1 bzw. Z2 verbunden ist. Die zweite Abtriebswelle A2 verlässt die Antriebseinheit koaxial zur ersten Abtriebswelle A1 in der entgegengesetzten Richtung. Dadurch kann eine sehr kompakte, platzsparende und kostengünstige Antriebseinheit, z.B. für Elektrofahrzeuge, realisiert werden.

Patentansprüche

1. Elektrisches Maschinensystem mit einer vorzugsweise geradzahligen Anzahl von mechanisch und elektrisch verkoppelten Teilmaschinen (1-4), die gemeinsame magnetische Abschnitte und gemeinsame Spulen (SP1-SP4) aufweisen und über mechanische Getriebe (P1-P4; 12, 14) verbunden sind, wobei benachbarte Teilmaschinen (1-6) zueinander entgegengesetzte Drehrichtungen bei betragsmäßig gleichen Drehzahlen aufweisen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehrichtungsumkehr benachbarter Teilmaschinen (1-4) durch je ein Innen- und ein Außenzahnrad (P2, P4 bzw. P1, P3) realisiert ist, wobei eine Drehrichtungsgruppe ein zentrales Zahnrad (Z1) mit Außenverzählung und die andere Drehrichtungsgruppe ein zentrales Zahnrad (Z2) mit Innenverzählung aufweist, wobei die Übersetzungsverhältnisse der beiden Gruppen gleich sind, und dass die Spulen (SP1-SP4) zu einem Drehstrom-Wicklungssystem beliebiger Strangzahl, vorzugsweise einem dreisträngigen Wicklungssystem, verschaltet sind.
2. Maschinensystem nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** zu einem Drehstrom-Wicklungssystem beliebiger Strangzahl, vorzugsweise einem dreisträngigen Wicklungssystem, verschaltete Spulen (SP1-SP4).
3. Maschinensystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilmaschinen (1-6) synchron laufende Rotoren (RO1-RO4) mit Permanentmagneterregung, elektrischer Erregung und/oder Reluktanzcharakter sind.
4. Maschinensystem nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilmaschinen (1-6) asynchron laufende Rotoren in Form eines Kurzschlussläufers und/oder Schleifringläufers sind.
5. Maschinensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Spulensystem über leistungselektronische Stellglieder gemäß einem Ansteuerungsverfahren für Drehstrommaschinen angesteuert ist.
6. Maschinensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Rechenmittel zur Ermittlung einer mittleren elektrischen Rotorposition der Teilmaschinen (1-6) über sensorlose Verfahren auf Basis mathematischer Modelle vorgesehen sind.
7. Maschinensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mechanische Verkopplung der Teilmaschinen (1-4) zur Ausführung einer linearen Bewegung eingerichtet ist.
8. Maschinensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mittleren Winkellagen von mindestens zwei, vorzugsweise allen, in verschiedene Richtungen rotierenden Teilmaschinen (1-6) im Betrieb zueinander mechanisch veränderbar sind.
9. Maschinensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Welle (A_1), die ein Getriebeelement bzw. Getriebeelemente trägt, welche(s) die Teilmaschinen mechanisch verkoppelt bzw. verkoppeln, mit einem Differenzialgetriebe (D) mechanisch verbunden und vorzugsweise als Hohlwelle ausgeführt ist.

Hierzu 6 Blatt Zeichnungen

1/6

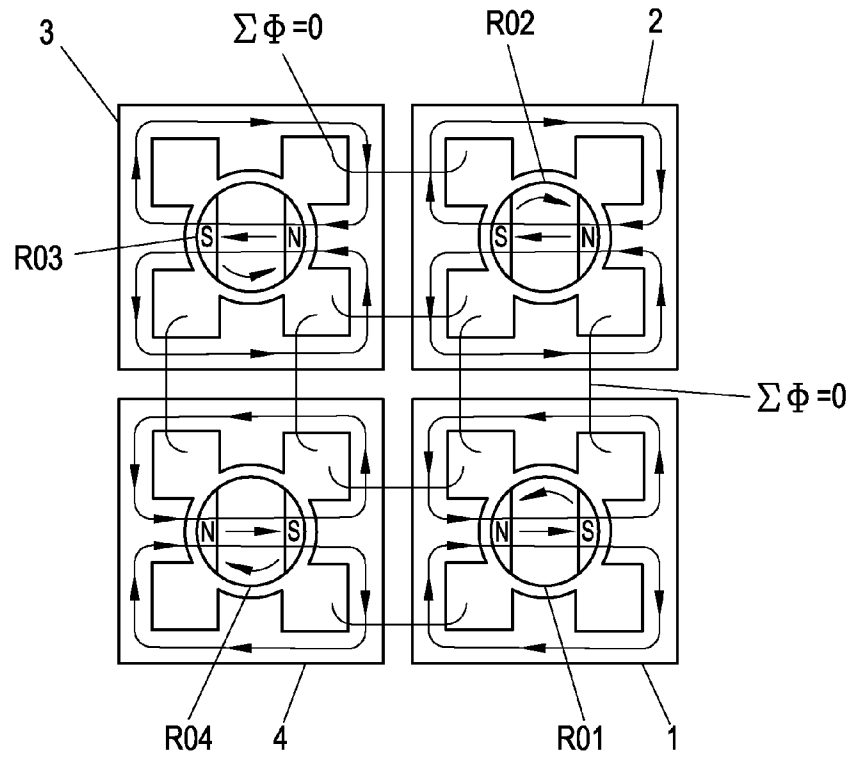


Fig. 1

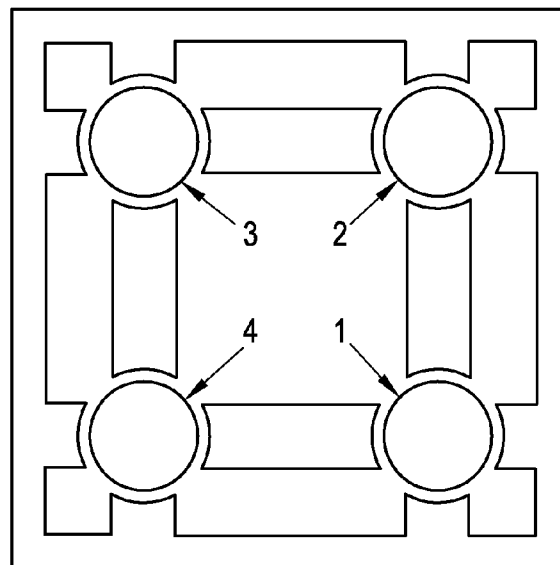


Fig. 2

2/6

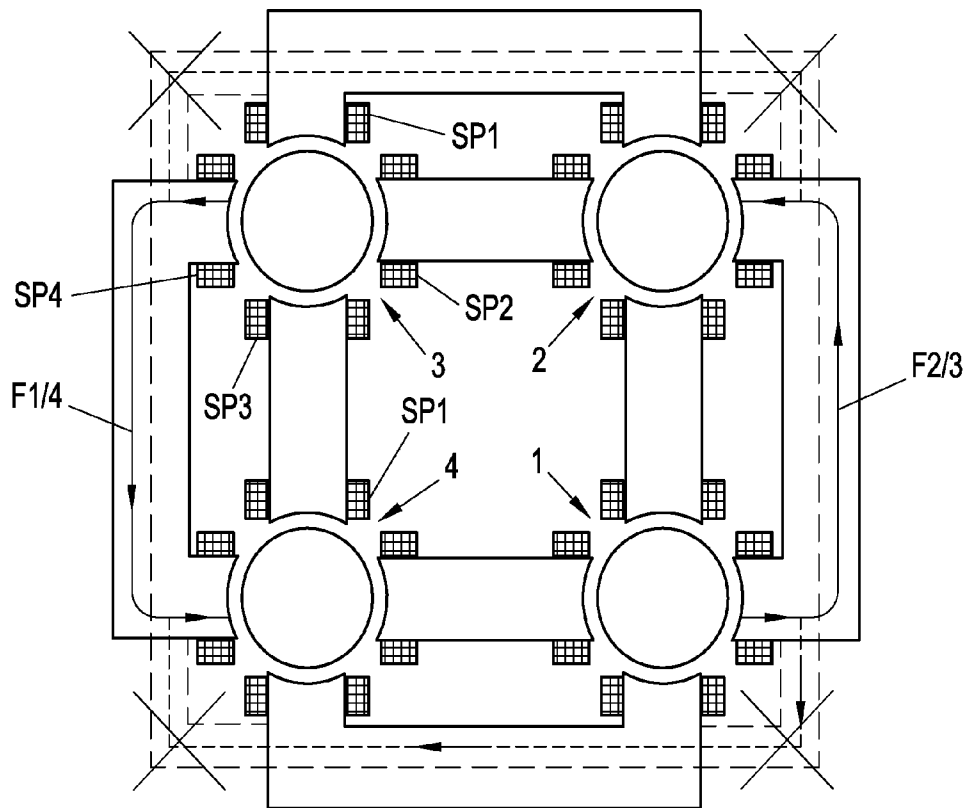


Fig. 3

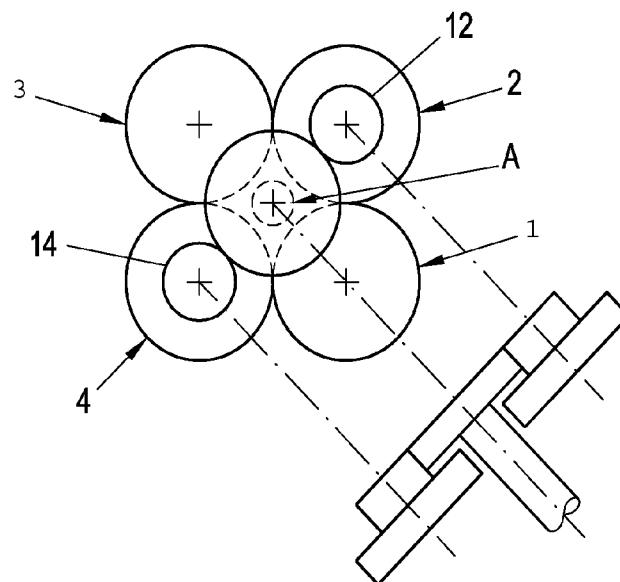


Fig. 4

3/6

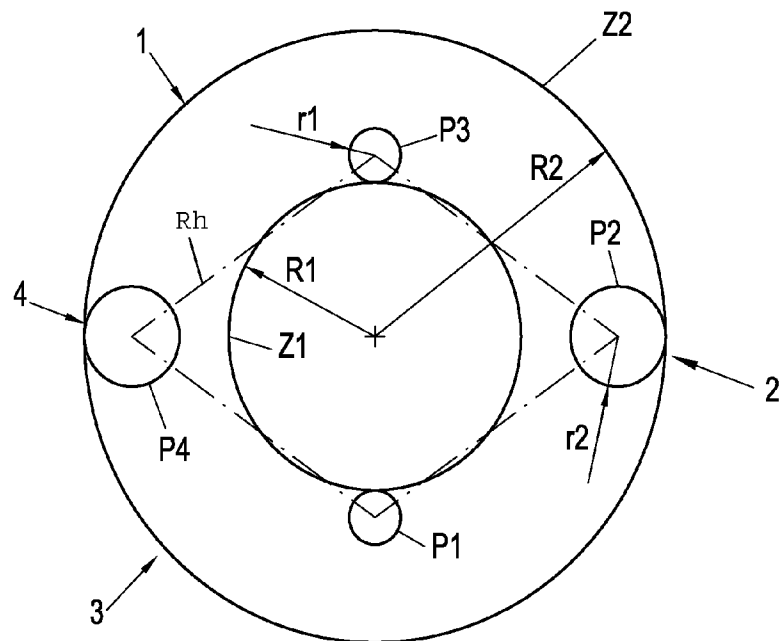


Fig. 5

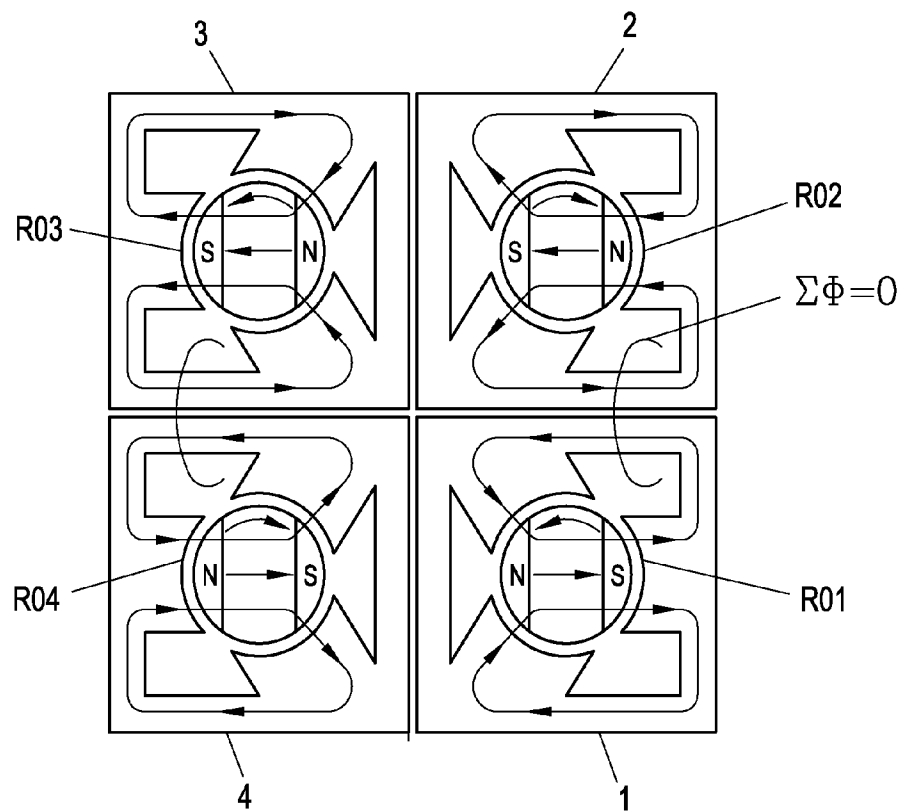


Fig. 6a

4/6

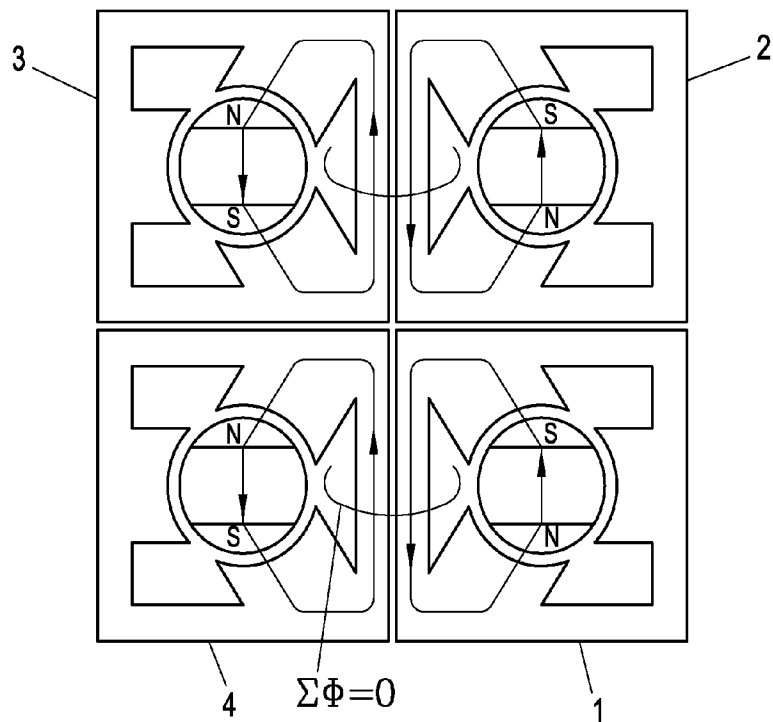


Fig. 6b

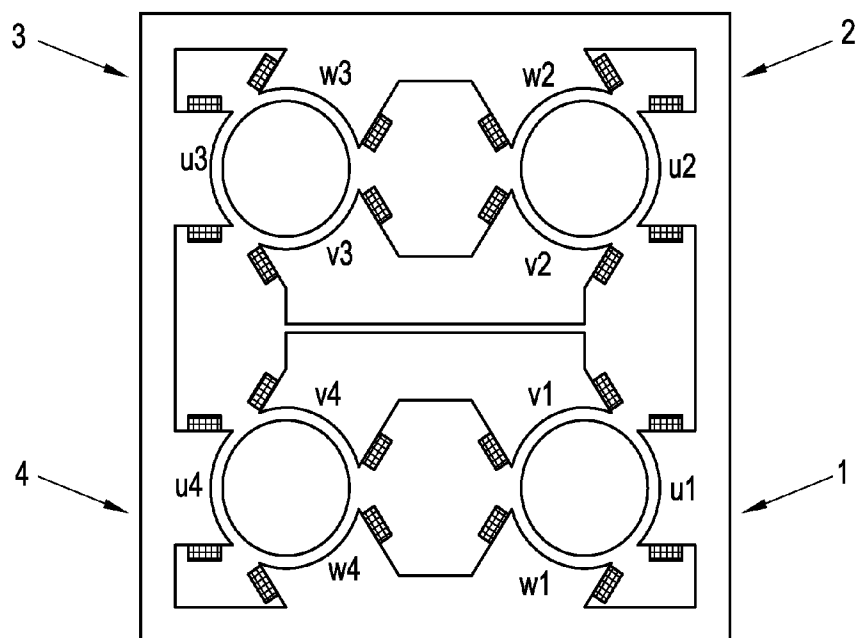


Fig. 7

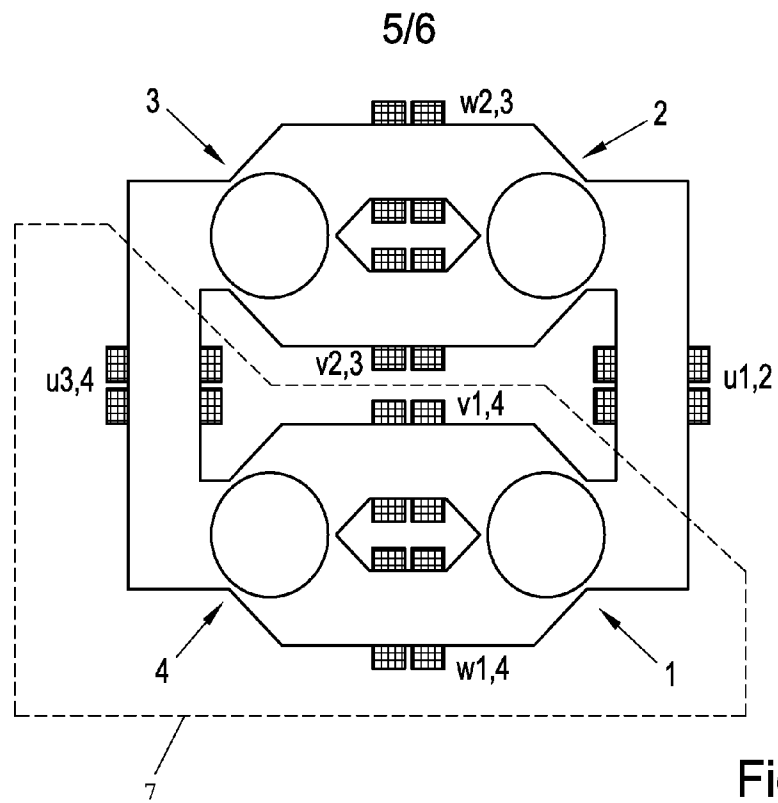


Fig. 8

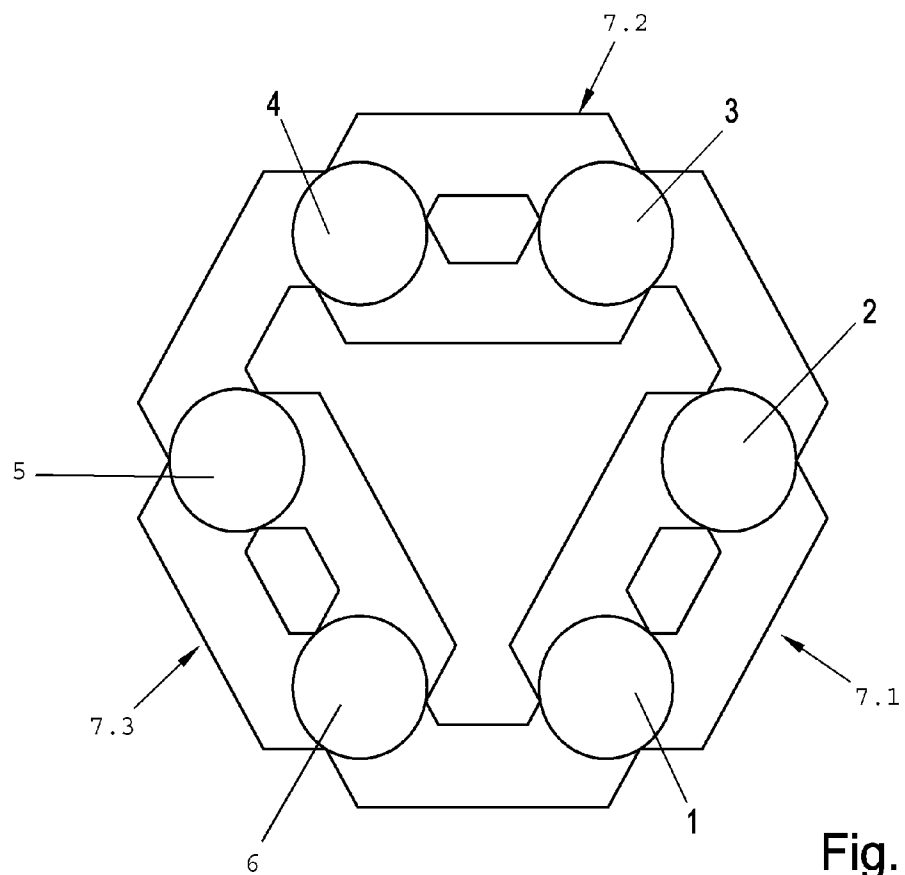


Fig. 9

6/6

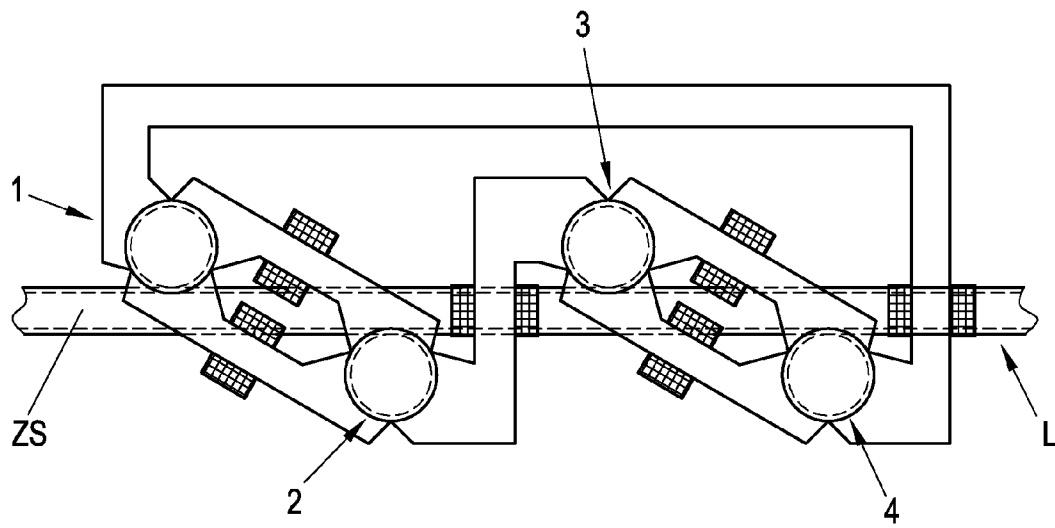


Fig. 10

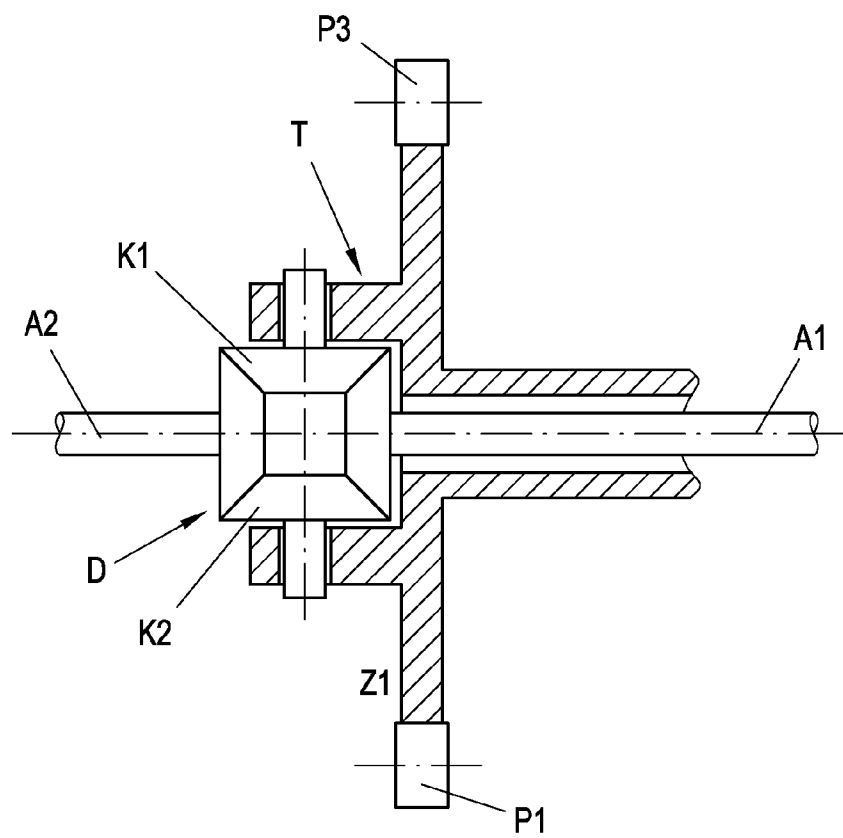


Fig. 11