



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 37 230 C5** 2005.11.17

(12)

Geänderte Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 37 230.2**

(22) Anmeldetag: **30.07.2001**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.04.2003**

(45) Veröffentlichungstag
des geänderten Patents: **17.11.2005**

(51) Int Cl.7: **F16H 25/06**
H02K 7/116, F16H 1/32

Patent nach Einspruchsverfahren beschränkt aufrechterhalten

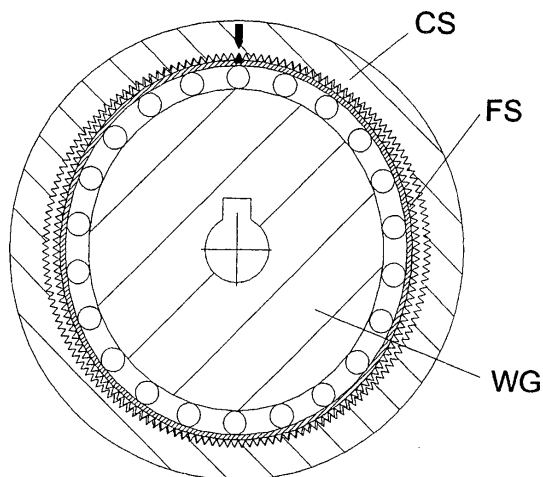
(73) Patentinhaber:
Falkenstein, Jens, Dipl.-Ing., 73434 Aalen, DE

(72) Erfinder:
gleich Patentinhaber

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 197 47 566 C1
DE 11 35 259 C
DE 148 87 49 B
DE 35 22 336 A1
JP 07-0 12 181 A
JP 02-2 75 146 A
LINDNER, Helmut, BRAVER, Harry,
LEHMANN, Constans:
Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik,
7.
Auflage, 1998, Fachbuchverlag Leipzig im Carl
Hanser Verlag, S.76,77, 88-93;

(54) Bezeichnung: **Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe**

(57) Hauptanspruch: Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe mit einer eine Verzahnung aufweisenden starren Einheit und einer, ebenfalls eine Verzahnung aufweisenden, flexiblen Einheit, wobei die flexible Einheit eine dynamische elastische Deformation derart erfährt, daß die Verzahnung der flexiblen Einheit mit der Verzahnung der starren Einheit stets in getrennten Bereichen in Eingriff gebracht wird, so daß sich die flexible Einheit relativ zur starren Einheit bewegt, wobei die dynamische elastische Deformation der flexiblen Einheit von magnetischen Kräften hervorgerufen wird, die mit Hilfe elektrischer Strome beeinflußt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die flexible Einheit einen flußführenden Bereich aufweist, der zur Führung von magnetischen Flüssen ausgestaltet ist und dazu ausreichende Querschnittsflächen aufweist, wobei über den flußführenden Bereich verlaufende magnetische Flüsse magnetische Kräfte hervorrufen, die auf den flußführenden Bereich und damit direkt auf die flexible Einheit wirken, wobei der flußführende Bereich der flexiblen Einheit aus einem Verbundwerkstoff besteht, der aus Kunststoff und einem weichmagnetischen oder permanentmagnetischen Pulver aufgebaut ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe mit einer eine Verzahnung aufweisenden starren Einheit und einer, ebenfalls eine Verzahnung aufweisenden, flexiblen Einheit, wobei zwischen den beiden Einheiten wirkende, veränderliche magnetische Kräfte die flexible Einheit dynamisch derart deformieren, daß die Verzahnung der flexiblen Einheit mit der Verzahnung der starren Einheit stets in zwei getrennten Bereichen in Eingriff gebracht wird, so daß sich die flexible Einheit relativ zur starren Einheit bewegt.

[0002] Die bekannten, auf einer flexiblen Einheit basierenden Spannungswellen-Getriebe, auch als Harmonic-Drive-Getriebe bezeichnet, dienen der kinematischen Kopplung zweier Rotationsachsen und weisen ein konstantes Übersetzungsverhältnis auf. Typische Übersetzungen einer Getriebestufe liegen bei 1:30 bis 1:320. In **Fig. 1** ist anhand einer möglichen Ausführungsform das Funktionsprinzip eines Spannungswellen-Getriebes dargestellt. Bei der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform mit radialer Verzahnung ist ein innenverzahnter starrer Ring, die sogenannten Circular Spline CS, vorgesehen, in dessen Innerem sich coaxial dazu ein ringförmiges außenverzahnendes flexibles Element, die sogenannte Flex Spline FS, befindet. Im Inneren der Flex Spline ist ein Auslenkgenerator, der sogenannte Wave-Generator WG vorgesehen, der die Flex Spline FS ellipsenförmig so deformiert, daß ihre Außenverzahnung wie dargestellt mit der Innenverzahnung der Circular Spline CS im Bereich der großen Ellipsenachse an zwei gegenüberliegenden Stellen in Eingriff kommt. Der Wave-Generator WG kann sich relativ zur Flex Spline FS in der in **Fig. 1.1** und **Fig. 1.2** als Bildsequenz dargestellten Weise drehen, wobei die Zahn-eingriffsbereiche rotatorisch umlaufen. Typischerweise ist der Wave-Generator WG als elliptische Scheibe mit aufgezogenem Kugellager ausgeführt und die Innenverzahnung der Circular Spline CS weist zwei Zähne mehr auf als die Außenverzahnung der Flex Spline FS. Infolge der in **Fig. 1** dargestellten Drehung des Wave-Generators WG um 90° im Uhrzeigersinn um die Rotationsachse dreht sich die Flex Spline FS um eine halbe Zahnbreite relativ zur Circular Spline CS zurück, was sich anhand des schwarz markierten Zahnes der Flex Spline FS und des Markierungspfeiles auf der Circular Spline CS erkennen läßt.

[0003] Die Vorteile des Spannungswellen-Getriebes sind eine hohe Übersetzung in einer Getriebestufe bei kompaktem Bauraum, geringem Spiel und hoher Steifigkeit. Typische Einsatzgebiete umfassen Vorschub- und Roboterantriebe, die fein auflösende Weggeber benötigen. Ein Beispiel hierfür findet sich in der DE 35 22 336 A1. Meist wird der Wave-Generator WG von einem elektrischen Servomotor oder Schrittmotor angetrieben, während die Circular Spli-

ne CS mit dem Gehäuse und die Flex Spline FS mit der Abtriebswelle verbunden ist. Elektrische Schrittmotoren verursachen geringe Kosten und ermöglichen eine hohe Positioniergenauigkeit der Abtriebswelle, erzeugen aber nur begrenzte Drehmomente. Bei Schrittverlusten geht die Information über die Positionierung der Abtriebswelle verloren. Elektrische Servomotoren benötigen Lagemeßsysteme und geeignete Ansteuerungen, wodurch sich hohe Systempreise ergeben.

[0004] Zur Vermeidung dieser Nachteile wird in der DE 197 47 566 C1 vorgeschlagen, den Wave-Generator WG durch Piezoaktoren zu ersetzen, die die Flex Spline FS deformieren. Aufgrund der begrenzten Längenänderungen von Piezostapelaktoren, die bei ca. 1 Promille der Aktorlänge liegen, wird eine Kombination von Piezostapelaktoren mit Wegübersetzungseinheiten oder der Einsatz von Piezobiegeaktoren vorgesehen. Nachteilig ist dabei, daß infolge der unvermeidbaren Elastizitäten in den Wegübersetzungseinheiten ein Teil der von den Piezostapelaktoren erzeugten Längenänderungen verloren geht, während die Piezobiegeaktoren nur geringe Kräfte generieren. Daneben ergibt sich ein aufwendiger Aufbau, da neben der Circular Spline CS und der Flex Spline FS weitere Teile mitsamt Lagerstellen erforderlich sind bzw. die elektrische Energie den mitrotierenden Piezoaktoren zugeführt werden muß.

[0005] Ein weiterer Nachteil einer oben beschriebenen Antriebseinheit, bestehend aus einem elektrischen Schritt- bzw. Servomotor und einem Spannungswellen-Getriebe, liegt in dem Massenträgheitsmoment der mit der hohen Antriebsdrehzahl rotierenden, antriebsseitigen Komponenten, wie z.B. der Rotor des Schritt- bzw. Servomotors und der Wave-Generator WG. Aufgrund der hohen Übersetzung überwiegt dieses Massenträgheitsmoment meist das auf die Antriebsseite reduzierte Massenträgheitsmoment der abtriebsseitig mit der Flex Spline FS gekoppelten Komponenten und begrenzt damit die Dynamik des Antriebs. Daneben ergibt sich ein aufwendiger Aufbau mit einer Lagerung der Schritt- bzw. Servomotorwelle, einer Lagerung, die eine Rotation des Wave-Generators WG relativ zur Flex Spline FS ermöglicht und einer Lagerung der Abtriebswelle. Ein geringes Winkelspiel der Antriebseinheit muß durch enge Fertigungstoleranzen sichergestellt werden.

[0006] In der DE 11 35 259 C wird vorgeschlagen, eine Spannungswelle durch elektromagnetische Mittel fortzupflanzen, beispielsweise unter Verwendung von Elektromagneten, welche fortschreitend auf eines der Ringräder der Getriebekombination (d.h. die flexible Einheit) wirken und um dieses verteilt sind. Weiterhin wird vorgeschlagen, die magnetische Kupplung durch magnetisch aufnahmefähige Stäbe oder Ketten zu verstärken, um den magnetischen Widerstand des Kraftlinienweges herabzusetzen.

[0007] In der DE 14 88 749 B wird vorgeschlagen, zum Treiben des ausbiegbaren Ringgliedes (d.h. der flexiblen Einheit) im Umfang nacheinander erregte Paare im Kreis nebeneinander liegender Magnetspulen entgegengesetzter Polarität im Stator anzuordnen, die zusammen mit jeweils einem diametrisch gegenüberliegenden Paar in kreisförmig fortschreitender Bewegung erregt werden. Gegen das Innere des ausbiegbaren Ringgliedes liegt eine Spiralfeder aus magnetischem Bandmaterial, ähnlich einer Uhrmacherfeder an. Durch diese Ausführung behält der Anker seine radiale Ausbiegbarkeit bei und nachteilig wirkender mechanischer Widerstand wird herabgesetzt.

[0008] Sowohl in der DE 11 35 259 C als auch in der DE 14 88 749 B wird die flexible Einheit dünnwandig ausgeführt, um die dynamische Verformung zu ermöglichen. Eine Führung der magnetischen Kraftlinien entlang der dünnen Wandung ist aufgrund der geringen Querschnitte nur bedingt möglich. Daher stehen zusätzliche Teile, z.B. magnetisch aufnahmefähige Stäbe, Ketten oder eine Spiralfeder mit der flexiblen Einheit in Kontakt und führen die magnetischen Kraftlinien bzw. besitzen die erforderlichen Querschnitte, um den magnetischen Widerstand zu reduzieren. Die Magnetkräfte greifen überwiegend an diesen zusätzlichen Teilen an und werden an die flexible Einheit weitergeleitet. An den Kontaktstellen zwischen den zusätzlichen Teilen und der flexiblen Einheit entstehen Reibung, die eine dynamische Verformung der flexiblen Einheit erschwert und Verschleiß. Z.B. führen bei der in der DE 14 88 749 B vorgeschlagenen Anordnung Magnetkräfte zu verstärkten Kontaktkräften und damit erhöhter Reibung zwischen den einzelnen Lagen der Spiralfeder und zwischen der Spiralfeder und der flexiblen Einheit. Magnetische Kraftlinien verlaufen durch die Wandung der flexiblen Einheit und zum Teil senkrecht zu den einzelnen Lagen der Spiralfeder, was bei der Verwendung von elektrisch leitenden Materialien unerwünschte Wirbelströme hervorruft. Die Kraftlinien müssen zusätzlich zum Luftspalt zwischen flexibler und starrer Einheit den magnetischen Widerstand der Wandung der flexiblen Einheit überwinden, was eine entsprechend erhöhte Durchflutung bzw. Amperewindungszahl erfordert und zu erhöhten Kupferverlusten in den Magnetspulen führt.

[0009] In der JP 07012181 A und der JP 02275146 A wird vorgeschlagen, die ringförmige flexible Einheit eines Spannungswellen-Getriebes mit Hilfe einer magnetischen Flüssigkeit, die sich im Inneren der flexiblen Einheit befindet, auszulenken. Dazu wird mit Hilfe von Elektromagneten ein magnetisches Feld erzeugt, das die magnetische Flüssigkeit an zwei am Umfang der flexiblen Einheit diametrisch gegenüberliegenden Stellen anzieht und die flexible Einheit somit ellipsenförmig verformt. Durch Rotation des magnetischen Feldes entsteht eine dynamische Verfor-

mung der flexiblen Einheit bzw. eine Spannungswelle.

[0010] Bei beiden Ausführungen befindet sich magnetische Flüssigkeit im Innern der flexiblen Einheit, die erforderliche Abdichtung der flexiblen Einheit ist konstruktiv aufwendig bzw. erschwert die dynamische Verformung. Die viskose magnetische Flüssigkeit wirkt insbesondere bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten der Spannungswelle dämpfend, was den Wirkungsgrad herabsetzt.

[0011] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 so auszubilden, daß ein einfacher Aufbau aus einer flexiblen Einheit und einer starren Einheit gebildet wird, wobei auf zusätzliche Elemente, die zusätzlich träge Massen, Reibung, Verschleiß und Dämpfung liefern, wie z.B. eine elliptische Scheibe mit aufgezo-genem Kugellager als Wave-Generatorelemente mit Lagerstellen, eine Spiralfeder die mit der flexiblen Einheit in Kontakt steht oder ein magnetisches Fluid, verzichtet wird. Damit ergibt sich ein spielfreier, robuster, verschleißarmer elektrischer Antrieb mit hoher Dynamik. Die dynamische Verformung der flexiblen Einheit wird von veränderlichen magnetischen Kräften, die zwischen der flexiblen Einheit und der starren Einheit wirken, erzeugt. Die magnetischen Kräfte werden von magnetischen Flüssen erzeugt, die über die starre Einheit, Luftspalte und erfindungsgemäß über einen dafür vorgesehenen flußführenden Bereich der flexiblen Einheit verlaufen.

[0012] Um die erforderliche elastische dynamische Deformation der flexiblen Einheit zu erreichen, ist die Grundstruktur der flexiblen Einheit dünnwandig ausgeführt. Eine Führung des magnetischen Flusses entlang der Grundstruktur der flexiblen Einheit ist aufgrund der dünnwandigen Ausführung mit den folglich geringen Querschnittsflächen nur bedingt möglich. Daher verläuft der magnetische Fluß erfindungsgemäß über einen dafür vorgesehenen flußführenden Bereich der flexiblen Einheit, der die zur Führung der magnetischen Flüsse erforderlichen Querschnittsflächen bildet und entsprechend ausgestaltet ist. Der flußführende Bereich der flexiblen Einheit besteht aus einem permanentmagnetischen oder weichmagnetischen Material mit geringer mechanischer Steifigkeit und geringer mechanischer Hysterese, z.B. aus kunststoffgebundenen Hartferriten, um die dynamische Verformung der flexiblen Einheit nicht zu behindern. Alternativ dazu kann der flußführende Bereich der flexiblen Einheit aus weichmagnetischen oder permanentmagnetischen Lamellen aufgebaut sein, wobei die Lamellen so auf der flexiblen Einheit ausgerichtet sind, daß die Lamellen die dynamische Deformation der flexiblen Einheit nicht behindern. Z.B. werden die Längsachsen der Lamellen bei der in

Fig. 1 dargestellten Ausführungsform eines Spannungswellen-Getriebes mit radialer Verzahnung parallel zur Rotationsachse ausgerichtet, beim axialen Spannungswellen-Getriebe mit axialer Verzahnung dagegen radial zur Rotationsachse. In beiden Fällen werden die Längsachsen der Lamellen in Richtung der Längsachsen der Zähne der Verzahnung der flexiblen Einheit ausgerichtet. Nach „Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik“, 7. Auflage, München; Wien: Fachbuchverlag Leipzig im Carl-Hanser-Verlag, 1998, Seite 93, beträgt die Zugkraft eines Elektromagneten ca. 80 Newton je Quadratzentimeter Gesamtpolfläche bei einer im Elektromaschinenbau üblichen Flußdichte von 1 Tesla. Mit magnetischen Kräften dieser Größenordnung läßt sich die erforderliche dynamische Deformation der flexiblen Einheit erreichen.

[0013] Mit nur zwei Teilen, einer starren Einheit und einer flexiblen Einheit, ergibt sich ein robuster Aufbau, ein möglicher Verschleiß kann nur an einer zwischen der starren Einheit und der flexiblen Einheit evtl. erforderlichen Lagerung und an den Verzahnungen auftreten. Bei der üblichen Bauweise eines Spannungswellen-Getriebes wird der Verformungsweg bzw. die Geometrie der Deformation der Flex Spline z.B. von einer elliptischen Scheibe als Wave-Generator vorgegeben. Geringes Verzahnungsspiel muß durch enge Fertigungstoleranzen sichergestellt werden.

[0014] Beim erfindungsgemäßen elektrisch angetriebenen Spannungswellen-Getriebe wirken magnetische Kräfte auf die flexible Einheit, die elastische Deformation der flexiblen Einheit kann sich den Geometrien der Verzahnungen entsprechend einstellen, wodurch sich ein spielfreier Aufbau mit minimiertem Verschleiß und geringer Reibung in den Verzahnungen erreichen läßt. Bei geeigneter Vorgabe der magnetischen Kräfte kann das zwischen der flexiblen Einheit und der starren Einheit entstehende Drehmoment, das als Abtriebsdrehmoment genutzt wird, mit hoher Auflösung und aufgrund der geringen Massenträgheiten mit hoher Dynamik vorgegeben werden. Ein entsprechendes elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe kann z.B. als Stellglied bei hochdynamischen Roboterantrieben bzw. zur Kraftregelung von Roboterarmen vorteilhaft eingesetzt werden.

[0015] Die Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen anhand von erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigen:

[0016] **Fig. 1** prinzipieller Aufbau eines Spannungswellen-Getriebes,

[0017] **Fig. 2** erfindungsgemäßes elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe mit einem fluß-

führenden Bereich der flexiblen Einheit, der aus weichmagnetischen Lamellen besteht,

[0018] **Fig. 3** erfindungsgemäßes elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe mit einem flußführenden Bereich der flexiblen Einheit, der aus permanentmagnetischen Lamellen besteht.

[0019] Die **Fig. 2** zeigt ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines elektrisch angetriebenen Spannungswellen-Getriebes, bei dem die flexible Einheit **1** topfförmig und elastisch verformbar ausgebildet, einstückig mit der Abtriebswelle **2** verbunden und mit einer Außenverzahnung **3** versehen ist. Die starre Einheit **8** ist koaxial zur flexiblen Einheit **1** angeordnet, mit einer Innenverzahnung **9** versehen und mit mindestens drei Spulenpaaren einstückig verbunden. Die drei Spulenpaare bestehen aus je zwei am Umfang gegenüberliegenden, zur Vermeidung von Wirbelströmen geblechten Spulenkörpern **10** und **11** bzw. **12** und **13** sowie **14** und **15** mit zugehörigen Wicklungen. Eine zwischen der flexiblen Einheit **1** und der starren Einheit **8** eingebrachte Lagerung **7** ermöglicht eine Rotationsbeweglichkeit der flexiblen Einheit **1** relativ zur starren Einheit **8** um die Abtriebswelle **2**. Die flexible Einheit **1** besitzt parallel zur Rotationsachse ausgerichtete, über den Umfang verteilte, radial nach außen zeigende Rippen **4**, die einstückig mit weichmagnetischen Lamellen **5** verbunden sind. Die weichmagnetischen Lamellen **5** bilden den flußführenden Bereich der flexiblen Einheit **1** und sind zur Vermeidung von Wirbelströmen geblecht ausgeführt. Die Längsachsen der Lamellen **5** sind parallel zur Rotationsachse ausgerichtet. Dadurch und in Verbindung mit den Rippen **4** wird eine ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1**, durch welche die Außenverzahnung **3** der flexiblen Einheit **1** wie dargestellt mit der Innenverzahnung **9** der starren Einheit **8** im Bereich der großen Ellipsenachse an zwei gegenüberliegenden Stellen in Eingriff kommt, nicht behindert. Die ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1** ergibt sich durch das Bestromen der Wicklungen zweier am Umfang gegenüberliegender Spulenkörper **10**, **11**, was zu magnetische Flüßsen **16**, **17** und zu radial nach außen wirkenden magnetischen Kräften auf die im Bereich der Spulenkörper **10**, **11** befindlichen Lamellen **5** führt. Die große Ellipsenachse liegt in der durch die Rotationsachse verlaufenden, gemeinsamen Symmetrieebene der beiden Spulenkörper **10**, **11**.

[0020] Durch Bestromen der Wicklungen der Spulenkörper **12**, **13** und Beenden der Bestromung der Wicklungen der Spulenkörper **10**, **11** ändert sich die ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1**, die große Ellipsenachse dreht sich um 60° im Uhrzeigersinn um die Rotationsachse und liegt dann in der durch die Rotationsachse verlaufenden, gemeinsamen Symmetrieebene der beiden Spulenkörper **12**, **13**. Da die Innenverzahnung **9** der starren Einheit **8**

zwei Zähne mehr aufweist als die Außenverzahnung **3** der flexiblen Einheit **1**, dreht sich die flexible Einheit **1** dabei um $1/3$ Zahnbreite relativ zur starren Einheit **8** zurück. Das zeitlich aufeinanderfolgende Bestromen unterschiedlicher Spulenpaare erzeugt eine dynamische ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1** wobei sich die große Ellipsenachse um die Rotationsachse dreht und es ergibt sich eine relative Verdrehung der flexiblen Einheit **1** gegen die starre Einheit **8** um die Rotationsachse. Das Ein- und Ausschalten der Bestromung der Wicklungen führt zu einer Schrittmotorcharakteristik. Mit mehr als drei Spulenpaaren läßt sich die Winkelauflösung an der Abtriebswelle **2** verbessern. Mit geeigneten Ansteuer-einrichtungen **18**, die die Stromstärken der Wicklungsströme variabel vorgeben können bzw. der gleichzeitigen Bestromung von mehr als einem Spulenpaar lassen sich auch Deformationen der flexiblen Einheit **1** erzeugen, bei denen die große Ellipsenachse nicht in der durch die Rotationsachse verlaufenden, gemeinsamen Symmetrieebene eines Spulen-paares liegt, was zu einer verbesserten Winkelauf-lösung führt, daneben kann die Geometrie der Deformation der flexiblen Einheit **1** geeignet variiert werden, so daß Reibungsverluste in den Verzahnungen minimal werden. Indem entsprechend der bei Drehstrommotoren eingesetzten Sehnung jede Wicklung mehrere Spulenkörper umfaßt, kann der Aufwand für die Ansteuereinrichtungen **18** der Wicklungsströme verringert werden. Die Ansteuerung der Wicklungsströme kann auf Basis der Signale von vorzugsweise berührungslos arbeitenden Abstandssensoren **6**, wie z.B. induktiven Abstandssensoren, erfolgen, die am Umfang der starren Einheit **8** verteilt angeordnet sind und den geometrischen Verformungszustand der flexiblen Einheit **1** erfassen. Durch Aufaddieren der Umläufe der großen Ellipsenachse kann auf den Rotationswinkel der Abtriebswelle **2** geschlossen werden.

[0021] Ein Durchgleiten der flexiblen Einheit **1** relativ zur starren Einheit **8** im unbestromten Zustand aller Wicklungen läßt sich vermeiden, indem die Spulenkörper eines Spulenpaares, zum Beispiel die Spulenkörper **10**, **11**, mit Permanentmagneten versehen werden. Im unbestromten Zustand der Wicklungen entstehen magnetische Flüsse **16** und **17**, die zu radial nach außen wirkenden magnetischen Kräften auf die im Bereich der Spulenkörper **10**, **11** befindlichen Lamellen **5** führen. Es entsteht eine elastische Deformation der flexiblen Einheit **1**, die große Ellipsenachse liegt in der durch die Rotationsachse verlaufenden, gemeinsamen Symmetrieebene der Spulenkörper **10**, **11**. Eine Rotation der flexiblen Einheit **1** relativ zur starren Einheit **8** wird verhindert, auf eine zusätzliche Feststellbremse kann so verzichtet werden.

[0022] Die Fig. 3 zeigt ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines elektrisch angetriebenen Spannungswellen-Getriebes, im Gegensatz zu dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel

bestehen die geblechten Lamellen **19** aus einem permanentmagnetischen Material und weisen in Richtung der Längsachse entgegengesetzte magnetische Nordpole N und magnetische Südpole S auf, wobei die magnetischen Nordpole N aller Lamellen **19** in Richtung der Lagerung **7** zeigen. Die Ansteuer-einrichtungen **21** können die Stromrichtungen bei der Bestromung der Wicklungen der Spulenkörper **10** bis **15** umkehren. Der übrige Aufbau entspricht dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 2. Durch geeignete Wahl der Stromrichtung bei der Bestromung der Wicklungen der Spulenkörper **10** bis **15** lassen sich magnetische Anziehungskräfte und magnetische Abstoßungskräfte erzeugen. Die auf die Lamellen **19** wirkenden Anziehungskräfte sind radial nach außen gerichtet und werden im Bereich der großen Ellipsenachse der Deformation der flexiblen Einheit **1** genutzt. Die auf die Lamellen **19** wirkenden Abstoßungskräfte sind radial nach innen gerichtet und wirken im Bereich der kleinen Ellipsenachse. Die Nutzung von zusätzlichen Abstoßungskräften ermöglicht eine höhere Leistungsdichte und bildet eine weitere Eingriffsmöglichkeit, um die Geometrie der Deformation der flexiblen Einheit **1** im Bezug auf die Reibungsverluste in den Verzahnungen **3**, **9** günstig zu beeinflussen. Im unbestromten Zustand aller Wicklungen wirken radial nach außen, gerichtete Anziehungskräfte auf die permanentmagnetischen Lamellen **19**. Diese Anziehungskräfte sind von der Dicke der Luftspalte **20** zwischen den permanentmagnetischen Lamellen **19** und den Spulenkörpern bzw. vom Abstand der permanentmagnetischen Lamellen **19** zu den Spulenkörpern abhängig. Bei kleiner werdendem Abstand erhöhen sich die Anziehungskräfte. Eine ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1** führt im Bereich der großen Ellipsenachse zu höheren radial nach außen gerichteten Anziehungskräften auf die Lamellen **19** als im Bereich der kleinen Ellipsenachse. Dies erhält die ellipsenförmige Deformation der flexiblen Einheit **1** auch im unbestromten Zustand aller Wicklungen und verhindert ein Durchgleiten der flexiblen Einheit **1** relativ zur starren Einheit **8**. Eine Vorzugsrichtung der großen Ellipsenachse der ellipsenförmigen Deformation entsteht nicht. Eine geeignete Bestromung der Wicklungen der Spulenkörper **10** bis **15** liefert zusätzliche magnetische Kräfte, die zu einem Drehmoment an der Abtriebswelle **2** führen, aber nicht zur Erhaltung der ellipsenförmigen Deformation der flexiblen Einheit **1** beitragen. Damit sind, verglichen mit dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 mit weichmagnetischen Lamellen **5**, die erforderlichen Wicklungsströme geringer, es entstehen weniger Kupferverluste und eine geringere Verlustwärme.

[0023] Die Wirkung einer Feststellbremse kann erreicht werden, indem die Spulenkörper eines Spulenpaares, zum Beispiel die Spulenkörper **10**, **11**, mit Permanentmagneten versehen werden. Die große Ellipsenachse der ellipsenförmigen Deformation der

flexiblen Einheit **1** erhält dadurch im unbestromten Zustand aller Wicklungen eine Vorzugsrichtung.

[0024] Auch bei dieser Ausführungsform lassen sich mit mehr als drei Spulenpaaren, mit Ansteuer-einrichtungen **21**, die die Stromstärken der Wicklungsströme variabel vorgeben können bzw. mit der gleichzeitigen Bestromung von mehr als einem Spulenpaar die Winkelauflösung an der Abtriebswelle **2** verbessern und die Geometrie der Deformation der flexiblen Einheit **1** so verändern, daß Reibungsverluste in den Verzahnungen minimal werden.

[0025] Bei den Ausführungsbeispielen nach **Fig. 2** und **Fig. 3** wird der innerhalb der flexiblen Einheit **1** befindliche Bauraum nicht genutzt. Es bietet sich daher an, die flexible Einheit **1** mitsamt der Abtriebswelle **2** als Hohlzylinder auszuführen. Die beiden Ausführungsbeispiele können dann vorteilhaft als Hohlwellenantriebe mit großem Innendurchmesser eingesetzt werden. Damit lassen sich z.B. hochintegrierte Roboterachsen realisieren.

Patentansprüche

1. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe mit einer starren Einheit und einer, ebenfalls eine Verzahnung aufweisenden, flexiblen Einheit, wobei die flexible Einheit eine dynamische elastische Deformation derart erfährt, daß die Verzahnung der flexiblen Einheit mit der Verzahnung der starren Einheit stets in getrennten Bereichen in Eingriff gebracht wird, so daß sich die flexible Einheit relativ zur starren Einheit bewegt, wobei die dynamische elastische Deformation der flexiblen Einheit von magnetischen Kräften hervorgerufen wird, die mit Hilfe elektrischer Ströme beeinflusst werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die flexible Einheit einen flußführenden Bereich aufweist, der zur Führung von magnetischen Flüssen ausgestaltet ist und dazu ausreichende Querschnittsflächen aufweist, wobei über den flußführenden Bereich verlaufende magnetische Flüsse magnetische Kräfte hervorrufen, die auf den flußführenden Bereich und damit direkt auf die flexible Einheit wirken, wobei der flußführende Bereich der flexiblen Einheit aus einem Verbundwerkstoff besteht, der aus Kunststoff und einem weichmagnetischen oder permanentmagnetischen Pulver aufgebaut ist.

2. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der flußführende Bereich der flexiblen Einheit aus einem Material mit geringer mechanischer Steifigkeit und geringer mechanischer Hysterese besteht, um die dynamische Deformation der flexiblen Einheit nicht zu behindern.

3. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach einem der Ansprüche 1 oder 2, da-

durch gekennzeichnet, daß die elastische Deformation der flexiblen Einheit nach Abschalten aller elektrischen Ströme durch permanentmagnetische Kräfte beibehalten wird und die Verzahnung der flexiblen Einheit mit der Verzahnung der starren Einheit stets in getrennten Bereichen in Eingriff steht und damit ein Durchgleiten der flexiblen Einheit relativ zur starren Einheit verhindert wird.

4. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elastische Deformation der flexiblen Einheit nach Abschalten aller elektrischen Ströme durch permanent magnetische Kräfte eine Vorzugsorientierung erhält und die Verzahnung der flexiblen Einheit mit der Verzahnung der starren Einheit stets in bevorzugten getrennten Bereichen in Eingriff steht, wodurch eine Rotation der flexiblen Einheit relativ zur starren Einheit verhindert wird.

5. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die permanentmagnetischen Kräfte von in die starre Einheit eingebrachten Permanentmagneten hervorgerufen werden.

6. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die permanentmagnetischen Kräfte von permanentmagnetischen Eigenschaften des flußführenden Bereiches der flexiblen Einheit hervorgerufen werden.

7. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß an der starren Einheit mindestens ein berührungslos arbeitender Abstandssensor angebracht ist, der den Abstand zwischen der flexiblen Einheit und der starren Einheit mißt und aus dessen Signal auf den geometrischen Verformungszustand der flexiblen Einheit geschlossen wird.

8. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstandssensor ein induktiver Abstandssensor ist.

9. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich zu der ersten starren Einheit eine zweite starre Einheit mit der elastisch deformierten flexiblen Einheit stets in getrennten Bereichen in Wirkverbindung tritt und bei einer dynamischen Deformation der flexiblen Einheit die zweite starre Einheit sich relativ zur ersten starren Einheit bewegt.

10. Elektrisch angetriebenes Spannungswellen-Getriebe nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß Bereiche der starren Ein-

heit, die die magnetischen Flüsse führen, aus mehreren, gegeneinander elektrisch isolierten Schichten bestehen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

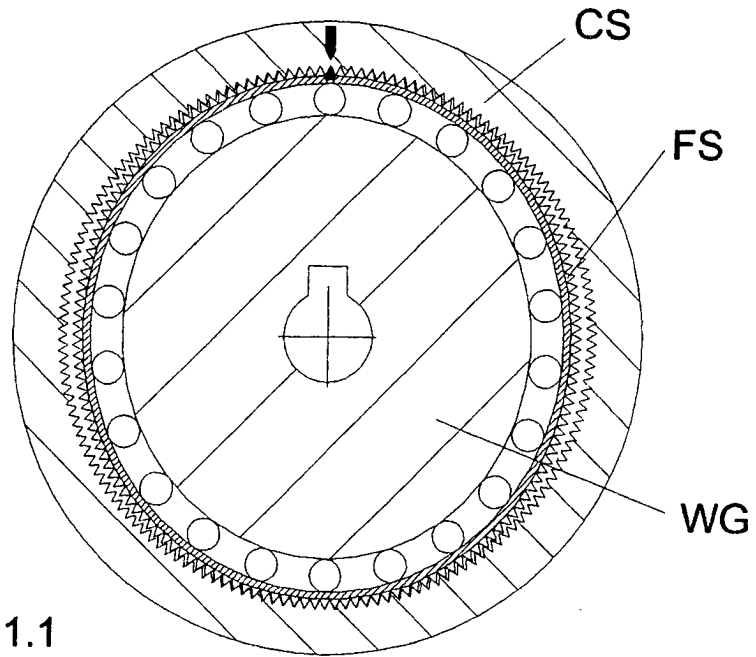


Fig. 1.1

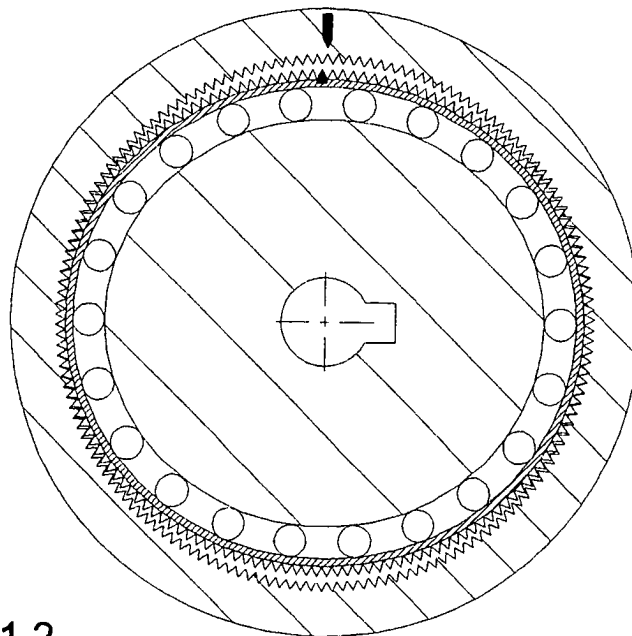
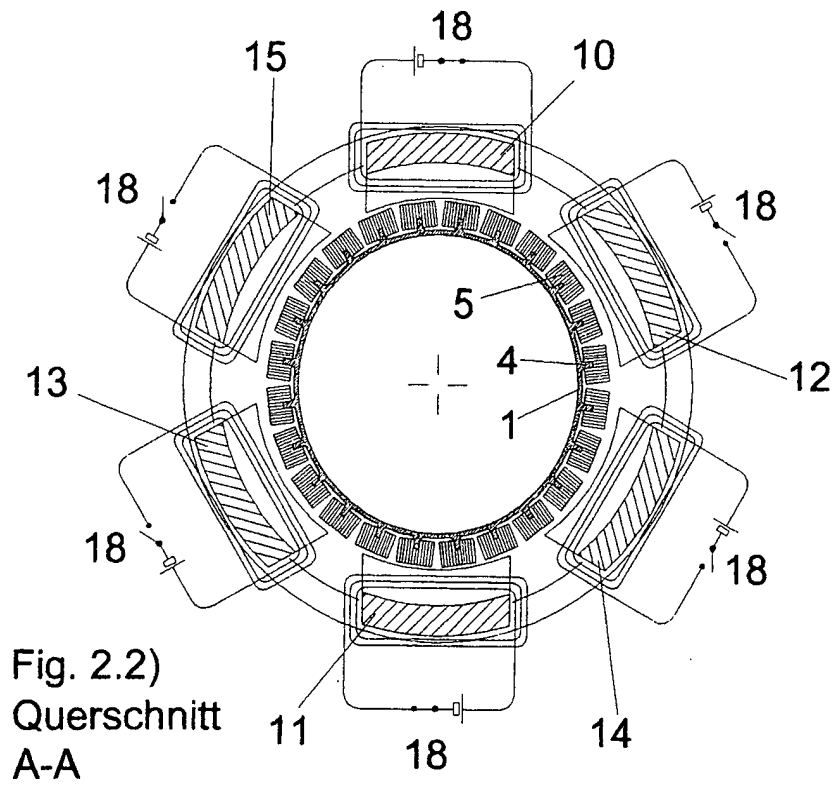
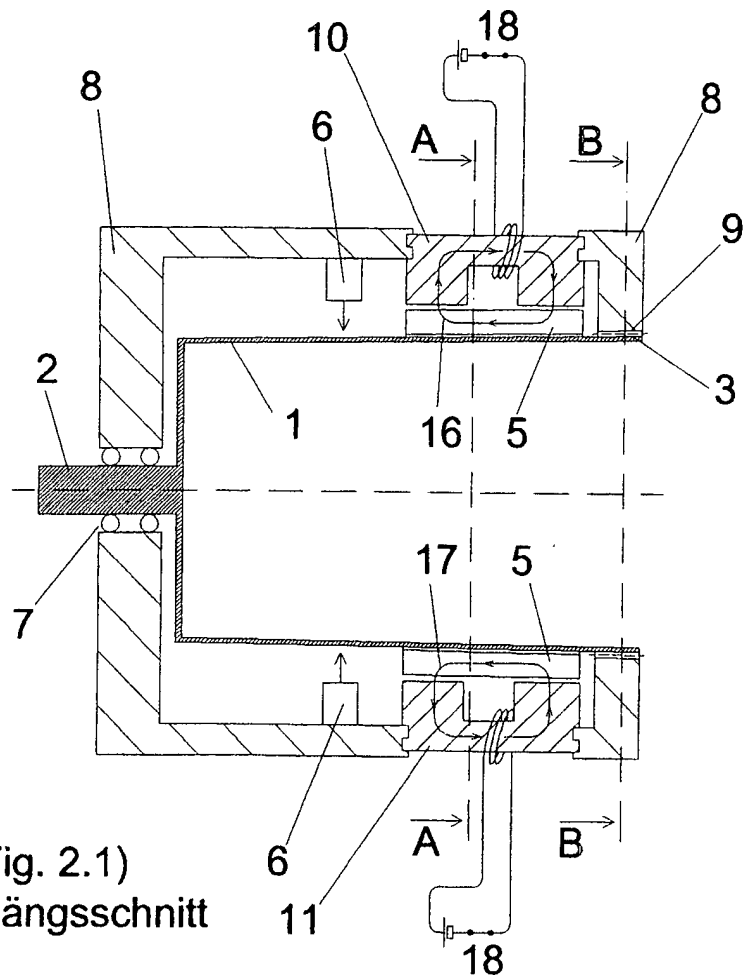


Fig. 1.2

Stand der Technik



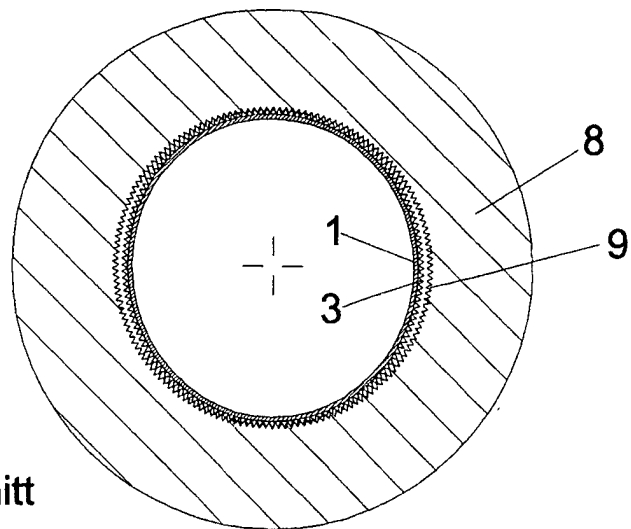


Fig. 2.3)
Querschnitt
B-B

