



(10) **DE 11 2011 105 258 T5** 2014.02.20

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/157020**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 105 258.8**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/002718**
(86) PCT-Anmeldetag: **16.05.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.11.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **20.02.2014**

(51) Int Cl.: **H02K 7/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Harmonic Drive Systems Inc., Tokyo, JP

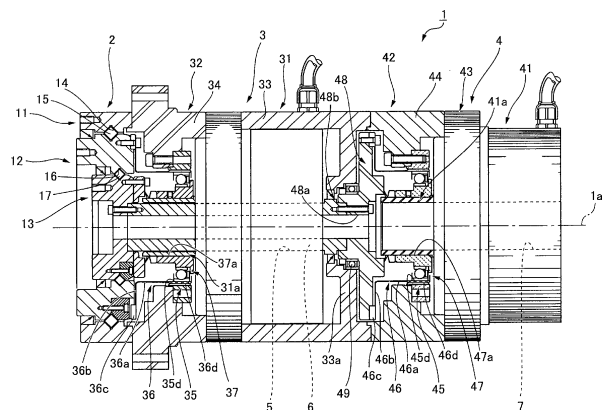
(72) Erfinder:
Yokoyama, Akihiro, Azumino-shi, Nagano-ken, JP

(74) Vertreter:
**KSNH Patentanwälte Klunker/Schmitt-Nilson/
Hirsch, 80796, München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Konzentrischer mehrachsiger Aktuator**

(57) Zusammenfassung: Ein konzentrischer dreiachsiger Aktuator (1) hat ein zweistufiges Kreuzrollenlager (2) sowie einen Vorstufenaktuator (3) und einen Folgestufenaktuator (4), die in Reihe verbunden sind. Das vordere Ende einer Folgestufenrotationsausgangswelle (6) des Folgestufenaktuators (4), wobei diese Folgestufenrotationsausgangswelle (6) durch einen Hohlbereich (5) des Vorstufenaktuators (3) verläuft und nach vorne hervorsteht, ist mit einem inneren Ring (13) des zweistufigen Kreuzrollenlagers (2) verbunden und daran befestigt, und der innere Ring (13) wirkt als Folgestufenrotationsausgangselement. Die Rotationsausgangsseite des Vorstufenaktuators (3) ist mit einem mittleren Ring (12) des zweistufigen Kreuzrollenlagers (2) verbunden und der mittlere Ring (12) wirkt als Vorstufenrotationsausgangselement. Das Rotationsausgangselement jeder Stufe wird durch das zweistufige Kreuzrollenlager (2) abgestützt und Oberflächenoszillationen des Rotationsausgangselements jeder Stufe können daher minimiert werden und die Drehmomentfestigkeit der Elemente kann erhöht werden.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen konzentrischen mehrachsigen Aktuator, bei dem es möglich ist, die Ausgangsrotation mehrerer in Reihe angeordneter Aktuatoren auf der gleichen Seite auszugeben, und bezieht sich insbesondere auf einen konzentrischen mehrachsigen Aktuator, der eine ausreichende Drehmomentsteifigkeit hat, aus dem eine Ausgangsrotation ohne Oberflächenoszillationen (axiale Oszillationen) aus den Aktuatoren entnommen werden kann.

[0002] Industrieroboter, z. B. Transportroboter, die benutzt werden, um Werkstücke, wie z. B. Substrate zu transportieren, verwenden als Rotationsantriebsmechanismen konzentrische mehrachsige Aktuatoren. Z. B. sind in einem konzentrischen zweiachsigen Aktuator zwei Aktuatoren in Reihe miteinander verbunden, wobei der Aktuator der Vorstufe einen hohlen Aufbau hat und die Rotationsausgangswelle des folgestufenseitigen Aktuators durch den hohlen Bereich des vorstufenseitigen Aktuators geführt ist und von der hohlen Ausgangswelle des vorstufenseitigen Aktuators nach vorne hervorsteht. Komponenten, wie z. B. Roboterarme, die durch Gelenke an der konzentrischen Rotationsausgangswelle bzw. der hohlen Ausgangswelle befestigt sind, können unabhängig voneinander angetrieben werden. Konzentrische mehrachsige Aktuatoren mit solch einem Aufbau sind in den Patentdokumenten 1 bis 8 offenbart. Ein mehrstufiges Kreuzrollenlager, das im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung steht, ist im Patentdokument 9 offenbart.

Dokumente des Standes der Technik

Patentdokumente

[0003]

JP-A 63-7285, Fig. 6
 JP-B 2750771, Fig. 2
 JP-A 6-791
 JP-A 5-329785
 JP-A 5-4178
 JP-B 2703291
 US Patent Nr. 6485250
 US Patent Nr. 5720590

Veröffentlichungsschrift WO 2003/050428

Zusammenfassung der Erfindung

Durch die Erfindung zu lösende Probleme

[0004] Da in einem konzentrischen mehrachsigen Aktuator die Rotationsausgangswelle des folgestufenseitigen Aktuators durch den hohlen Bereich des

vorstufenseitigen Aktuators verläuft und auf dessen Vorderseite hervorsteht, hat die folgestufenseitige Rotationsausgangswelle eine größere axiale Länge. Mit einer größeren axialen Länge ist die Konzentrität der Rotationsausgangswelle geringer und axiale Oszillationen (Oberflächenoszillationen) sind größer. Darüber hinaus ist bei einer Rotationsausgangswelle mit größerer Länge auch die Drehmomentsteifigkeit geringer. Wenn ein Lager oder Ähnliches hinzugefügt wird, um die Rotationsausgangswelle abzustützen, um die axialen Oszillationen zu reduzieren und die Drehmomentsteifigkeit zu erhöhen, ist es in einigen Fällen notwendig, die axiale Länge der Rotationsausgangswelle noch größer zu machen, um Raum für die Installation der zusätzlichen Komponenten zu schaffen.

[0005] Angesichts des zuvor Gesagten, ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen konzentrischen mehrachsigen Aktuator vorzuschlagen, der in der Lage ist, axiale Oszillationen zu vermeiden oder zu minimieren und der darüber hinaus eine hohe Drehmomentsteifigkeit hat.

Mittel zum Lösen des Problems

[0006] Wenn der Folgestufenaktuator einen hohlen Aufbau hat, ist ein hohler Bereich ausgebildet, der sich durch das Zentrum des konzentrischen mehrachsigen Aktuators erstreckt, und der hohle Bereich kann daher als Raum für Verdrahtung oder Ähnliches genutzt werden. Darüber hinaus kann ein konzentrischer dreiachsiger Aktuator realisiert werden, indem zusätzlich ein Aktuator mit der Rückseite des Folgestufenaktuators verbunden wird und bewirkt wird, dass die Rotationsausgangswelle dieses Aktuators durch den hohlen Bereich nach vorne hervorsteht. Auf die gleiche Weise kann in einem konzentrischen mehrachsigen Aktuator ein konzentrischer zweiachsiger Aktuator mit hohlem Aufbau als Aktuator mit zwei vorstufenseitigen Bereichen verwendet werden.

[0007] Ein Aktuator, der einen Motor und einen Wellgetriebe-Belastungsreduzierer aufweist, kann als der Vorstufenaktuator oder als der Folgestufenaktuator eingesetzt werden. In diesem Fall ist der Wellgetriebe-Belastungsreduzierer vorzugsweise ein Wellgetriebe-Belastungsreduzierer mit einem "Zylinderhut"-Aufbau, der geeignet ist, einen großen hohlen Bereich bereitzustellen.

[0008] In diesem Fall kann der konzentrische mehrachsige Aktuator gemäß der vorliegenden Erfindung wie folgt aufgebaut sein. Insbesondere ist der Vorstufenaktuator mit einem Vorstufenmotor und einem Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer ausgestattet, wobei der Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer ein Vorstufenreduzierergehäuse, ein steifes, innen verzahntes Vorstufenzahnrad, das koaxial an der Innenseite des Vorstufenreduzierer-

gehäuses befestigt ist, ein flexibles, außen verzahntes Vorstufenzahnrad mit Zylinderhutform, das koaxial innerhalb des steife, innen verzahnte Vorstufenzahnrades angeordnet ist, und einen Vorstufenwellgenerator hat, der in das Innere des flexiblen, außen verzahnten Vorstufenzahnrades eingepasst ist; eine zentrale Durchführungsöffnung im Vorstufenwellgenerator ausgebildet ist; das Vorstufengehäuse am äußeren Ring befestigt ist; das flexible, außen verzahnte Vorstufenzahnrad am mittleren Ring befestigt ist, und der Vorstufenwellgenerator an einer hohlen Motorwelle des Vorstufenmotors befestigt ist, die sich durch die zentrale Durchführungsöffnung des Vorstufenwellgenerators erstreckt.

[0009] Darüber hinaus ist der Folgestufenaktuator mit einem Folgestufenmotor und einem Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer ausgebildet, wobei der Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer aufweist: ein Folgestufenreduzierergehäuse, ein steifes, innen verzahntes Folgestufenzahnrad, das koaxial an der Innenseite des Folgestufenreduzierergehäuses befestigt ist, ein flexibles, außen verzahntes Folgestufenzahnrad in Zylinderhutform, das koaxial innerhalb des steifen, innen verzahnten Folgestufenzahnrades angeordnet ist, und einen Folgestufenwellgenerator, der in das Innere des flexiblen, außen verzahnten Folgestufenzahnrades eingepasst ist. In dem Folgestufenwellgenerator ist eine zentrale Durchführungsöffnung ausgebildet. Das Folgestufengehäuse ist an einem Motorgehäuse des Vorstufenmotors befestigt. Das flexible, außen verzahnte Folgestufenzahnrad ist am hinteren Ende der Folgestufenrotationsausgangswelle befestigt und der Folgestufenwellgenerator ist an einer Motorwelle des Folgestufenmotors befestigt, die sich durch die zentrale Durchführungsöffnung des Folgestufenwellgenerators erstreckt.

[0010] Das mehrstufige Kreuzrollenlager, das in der vorliegenden Erfindung benutzt wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass die inneren Rollen kleiner als die äußeren Rollen sind und das Zentrum der inneren Rollen in axialer Richtung gegenüber dem Zentrum der äußeren Rollen verschoben ist.

[0011] Das Ausmaß dieser Verschiebung liegt vorzugsweise zwischen der Hälfte der Spurbreite der inneren Spur und der Hälfte der Summe des Wertes dieser Spurbreite und der Spurbreite der äußeren Spur. Darüber hinaus ist das Ausmaß der Verschiebung vorzugsweise die Hälfte der Spurbreite der äußeren Spur.

[0012] Die Dicke des mittleren Ringes in radialer Richtung von der kreisförmigen inneren Umfangsfläche zur kreisförmigen äußeren Umfangsfläche ist vorzugsweise wenigstens das Doppelte der Dicke des äußeren Ringes in radialer Richtung von der

kreisförmigen inneren Umfangsfläche zur kreisförmigen äußeren Umfangsfläche.

[0013] Darüber hinaus sind die äußere Spur und die innere Spur im äußeren Ring, im mittleren Ring und im inneren Ring vorzugsweise an Positionen in der Nähe einer der Seitenflächen der Ringe ausgebildet.

[0014] Als Nächstes hat ein konzentrischer dreiachsiger Aktuator, in dem die vorliegende Erfindung benutzt wird, ein dreistufiges Kreuzrollenlager, in dem ein äußerer Ring, ein erster mittlerer Ring, ein zweiter mittlerer Ring und ein innerer Ring konzentrisch angeordnet sind. In diesem Fall ist in dem konzentrischen mehrachsigen Aktuator gemäß der vorliegenden Erfindung ein mehrstufiger Aktuator koaxial zwischen dem Vorstufenaktuator und dem Folgestufenaktuator angeordnet. Der Mittelstufenaktuator hat einen Mittelstufenhohlbereich, der sich in axialer Richtung durch sein Zentrum erstreckt, und eine Mittelstufenrotationsausgangswelle mit hohlem Aufbau, die sich durch den Mittelstufenhohlbereich nach vorne erstreckt. Die Folgestufenrotationsausgangswelle des Folgestufenaktuators erstreckt sich durch den Mittelstufenhohlbereich, die Mittelstufenrotationsausgangswelle und den Vorstufenhohlbereich nach vorne. Das mehrstufige Kreuzrollenlager ist darüber hinaus mit einem ersten mittleren Ring und einem zweiten mittleren Ring als mittleren Ringen ausgebildet, wobei der zweite mittlere Ring konzentrisch innerhalb des ersten mittleren Ringes angeordnet ist, eine ringförmige mittlere Spur mit rechteckigem Querschnitt ist zwischen dem ersten mittleren Ring und dem zweiten mittleren Ring ausgebildet, und mehrere mittlere Rollen sind rollbar in die innere Spur eingefügt. Der erste mittlere Ring bildet ein Vorstufenrotationsausgangselement, das von dem Vorstufenaktuator rotationsmäßig angetrieben wird, und der zweite mittlere Ring bildet ein Mittelstufenrotationsausgangselement, das fest mit der Mittelstufenrotationsausgangswelle verbunden ist.

Wirkung der Erfindung

[0015] In einem konzentrischen mehrachsigen Aktuator gemäß der vorliegenden Erfindung sind das mehrstufige Kreuzrollenlager, der Vorstufenaktuator und der Folgestufenaktuator in Reihe verbunden und das vordere Ende der Folgestufenrotationsausgangswelle des Folgestufenaktuators ist fest mit dem inneren Ring des mehrstufigen Kreuzrollenlagers verbunden, wobei die Welle durch den hohlen Bereich des Vorstufenaktuators hervorsteht und der innere Ring als Folgestufenrotationsausgangselement dient. Der Vorstufenaktuator ist auf der Rotationsausgangsseite mit dem mittleren Ring des Mehrstufenkreuzrollenlagers verbunden, wobei der mittlere Ring als Vorstufenrotationsausgangselement wirkt. Da die Rotationsausgangselemente jeder Stufe von dem mehrstufigen Kreuzrollenlager abgestützt

werden, können Oberflächenoszillationen der Rotationsausgangselemente der Stufen minimiert werden und ihre Drehmomentsteifigkeit kann erhöht werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] Fig. 1 ist eine Längsschnittansicht eines konzentrischen zweiachsigen Aktuators, in dem die vorliegende Erfindung benutzt wird;

[0017] Fig. 2 zeigt in einer Stirnansicht und einer Längsschnittansicht das zweistufige Kreuzrollenlager aus Fig. 1; und

[0018] Fig. 3 ist ein beschreibendes Diagramm, das einen konzentrischen dreiachsigen Aktuator zeigt, in dem die vorliegende Erfindung benutzt wird.

Art, die Erfindung auszuführen

[0019] Ausführungsbeispiele konzentrischer mehrachsiger Aktuatoren, in denen die vorliegende Erfindung verwendet wird, werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

[0020] Ein konzentrischer zweiachsiger Aktuator gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschrieben. Ein konzentrischer zweiachsiger Aktuator **1** hat entlang seiner Achse **1a** ein zweistufiges Kreuzrollenlager **2**, das als mehrstufiges Kreuzrollenlager dient, das am vorderen Ende angebracht ist, einen Vorstufenaktuator **3**, der koaxial mit der Rückseite des Kreuzrollenlagers verbunden ist, und einen Folgestufenaktuator **4**, der koaxial mit der Rückseite des Vorstufenaktuators verbunden ist. Der Vorstufenaktuator **3** hat einen Vorstufen-Hohlbereich **5** mit kreisförmigem Querschnitt, der sich in Richtung der Achse **1a** durch sein Zentrum erstreckt, und der Folgestufenaktuator **4** hat eine Folgestufen-Rotationsausgangswelle **6**, die hohl ausgebildet ist und sich durch den Vorstufen-Hohlbereich **5** koaxial nach vorne erstreckt. Der Folgestufenaktuator **4** des vorliegenden Ausführungsbeispiels hat einen Folgestufen-Hohlbereich **7** mit kreisförmigem Querschnitt, der sich in Richtung der Achse **1a** durch sein Zentrum erstreckt. Das zweistufige Kreuzrollenlager **2**, das am vorderen Ende des konzentrischen Zweistufenaktuators **1** angeordnet ist, hat einen äußeren Ring **11**, einen mittleren Ring **12**, der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist, und einen inneren Ring **13**, der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist. Eine ringförmige Außenspur **14** mit rechteckigem Querschnitt ist zwischen dem äußeren Ring **11** und dem mittleren Ring **12** ausgebildet, wobei mehrere äußere Rollen **15** eingefügt sind, deren Zentralachsen alternierend rechtwinklig ausgerichtet sind. Genauso ist eine ringförmige Innenspur **16** mit rechteckigem Querschnitt zwischen dem mittleren Ring **12** und dem inneren Ring **13** ausgebildet, wobei mehrere inneren Rollen

17 rollbar eingeführt sind, wobei ihre Zentralachsen alternierend rechtwinklig ausgerichtet sind. Dementsprechend wird durch den äußeren Ring **11**, den mittleren Ring **12**, die äußere Spur **14** und die äußeren Rollen **15** ein äußeres Kreuzrollenlager ausgebildet, und durch den mittleren Ring **12**, den inneren Ring **13**, die Innenspur **16** und die inneren Rollen **17** wird ein inneres Kreuzrollenlager ausgebildet.

[0021] Der mittlere Ring **12** des zweistufigen Kreuzrollenlagers wirkt als Vorstufen-Rotationsausgangselement, das durch den Vorstufenaktuator **3** rotierend angetrieben wird, während der innere Ring **13** als Folgestufen-Rotationsausgangselement wirkt, von der Folgestufen-Rotationsausgangswelle **6** rotationsmäßig angetrieben wird. Durch den konzentrischen Zweiachsenaktuator **1**, eine zentrale Durchgangsöffnung des inneren Ringes **13**, den Hohlbereich der Folgestufen-Rotationsausgangswelle **6** und den Folgestufen-Hohlbereich **7** ist ein Hohlbereich ausgebildet, der sich in Richtung der Achse **1a** erstreckt.

[0022] Als Nächstes wird der Aufbau jedes Elements ausführlicher beschrieben. Der Vorstufenaktuator **3** hat einen Vorstufenmotor **31** und einen Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer **32**, um die Ausgangsrotation des Vorstufenmotors **31** an den mittleren Ring **12** zu übertragen. Der Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer **32** hat ein zylinderförmiges Vorstufenreduzierergehäuse **34**, das mit der vorderen Stirnseite eines Motorgehäuses **33** des Vorstufenaktuators **3** verbunden ist, und ein steifes, innen verzahntes Vorstufenzahnrad **35** ist koaxial in einem Bereich an seiner inneren Umfangsseite angebracht und befestigt. Ein flexibles, außen verzahntes Vorstufenzahnrad **36**, das eine Zylinderhutform hat, ist koaxial innerhalb davon angeordnet, und ein Vorstufenwellgenerator **37** ist koaxial in sein Inneres eingepasst.

[0023] Das flexible, außen verzahnte Vorstufenzahnrad **36** hat einen kreisförmigen zylindrischen Trommelbereich **36a**, der in der Lage ist, sich in Richtung seines Durchmesser zu verbiegen, eine Membran **36b**, die sich auf Seiten des zweistufigen Kreuzrollenlagers **2** vom Ende des kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **36a** in radialer Richtung nach außen erstreckt, und eine steife ringförmige Nabe **36c**, die an seinem äußeren Umfangsrand ausgebildet ist. Auf dem äußeren Umfangsflächenbereich des offenen Endes auf der gegenüberliegenden Seite des kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **36a** ist eine Außenverzahnung **36d** ausgebildet, und der Vorstufenwellgenerator **37**, der eine elliptische Kontur hat, ist in das Innere des kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **36a**, auf dem die Außenverzahnung **36d** ausgebildet ist, eingepasst, wodurch die Außenverzahnung **36d**, die an beiden Enden in Richtung der Hauptachse des Außenverzahn-

nungsbereiches, der in eine elliptische Form verformt worden ist, in die Innenverzahnung **35d** des steifen, innen verzahnten Vorstufenzahnrades **35** eingreift.

[0024] Der äußere Ring **11** des zweistufigen Kreuzrollenlagers **2** ist an der vorderen Stirnfläche des Vorstufenreduzierergehäuses **34** angebracht und befestigt. Die ringförmige Nabe **36c** des flexiblen, außen verzahnten Vorstufenzahnrades **36** ist an der ringförmigen Stirnfläche des mittleren Ringes **12** des zweistufigen Kreuzrollenlagers **2** angebracht und befestigt. Der Vorstufenwellgenerator **37** hat eine zentrale Durchgangsöffnung **37a**, und eine hohle Motorwelle **31a** des Vorstufenmotors **31** erstreckt sich nach vorne und verläuft durch diese Öffnung. Der Vorstufenwellgenerator **37** ist am äußeren Umfang dieser hohlen Motorwelle **31a** angebracht und befestigt. Demzufolge wird die Eingriffsposition der beiden Zahnräder **35**, **36** durch den Vorstufenwellgenerator **37**, der durch die hohle Motorwelle **31a** des Vorstufenmotors **31** schnell rotiert wird, in Umfangsrichtung bewegt, wodurch aufgrund des Unterschiedes in der Anzahl der Zähne zwischen den beiden Zahnrädern eine relative Rotation zwischen den beiden Zahnrädern **34**, **36** erzeugt wird. Da das steife, innen verzahnte Vorstufenzahnrad **35** festgehalten wird, so dass es nicht rotiert, wird dem flexiblen, außen verzahnten Vorstufenzahnrad **36** eine Rotation mit erheblich reduzierter Drehzahl entnommen und an den damit verbundenen inneren Ring **12** ausgegeben.

[0025] Der Folgestufenaktuator **4** hat einen Folgestufenmotor **41** sowie einen Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer **42**, um eine Ausgangsrotation des Folgestufenmotors **41** mit reduzierter Drehzahl über die Folgestufen-Rotationsausgangswelle **6** an den inneren Ring **13** zu übertragen. Der Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer **42** hat ein zylinderförmiges Folgestufenreduzierergehäuse **44**, welches den Bereich am vorderen Stirnseite eines Motorgehäuses des Folgestufenaktuators **4** bildet, und ein steifes, innen verzahntes Folgestufenzahnrad **45** ist in einem Bereich seines inneren Umfangs angebracht und befestigt. Ein flexibles, außen verzahntes Folgestufenzahnrad **46**, das die Form eines Zylinderhutes hat, ist koaxial innerhalb des steifen, innen verzahnten Zahnrades angeordnet, und ein Folgestufenwellgenerator **47** ist koaxial in das Innere des flexiblen, außen verzahnten Zahnrades eingepasst.

[0026] Das flexible, außen verzahnte Folgestufenzahnrad **46** hat den gleichen Aufbau, wie das flexible, außen verzahnte Vorstufenzahnrad **36** mit einem kreisförmigen zylindrischen Trommelbereich **46a**, der in der Lage ist, sich in Richtung des Durchmessers zu verbiegen, einer Membran **46b**, die sich auf Seiten des Vorstufenaktuators **3** vom Ende dieses kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **46a** in radialer Richtung nach außen erstreckt, und einer stei-

fen ringförmigen Nabe **46c**, die an seinem äußeren Umfangsrand ausgebildet ist. Auf dem äußeren Umfangsflächenbereich des offenen Endes am gegenüberliegenden Ende des kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **46a** ist eine Außenverzahnung **46d** ausgebildet, und der Folgestufenwellgenerator **47**, der eine elliptische Kontur hat, ist in das Innere des kreisförmigen zylindrischen Trommelbereichs **46a**, auf dem die Außenverzahnung **46d** ausgebildet ist, eingepasst, wobei die Außenverzahnung **46d** an beiden Enden der Hauptachsenrichtung des Außenverzahnungsbereiches, der in eine elliptische Form verformt worden ist, in die Innenverzahnung **45d** des steifen, innen verzahnten Folgestufenzahnrades **45** eingreift.

[0027] Die vordere Stirnfläche des Folgestufenreduzierergehäuses **44** ist an der hinteren Stirnfläche des zylindrischen Gehäuses **33** des Folgestufenaktuators **3** angebracht und befestigt. Eine Verbindungsscheibe **48**, die eine zentrale Durchgangsöffnung **48a** hat, ist innerhalb dieser angebrachten und befestigten Elemente angeordnet. Ein ringförmiger Flansch **48b**, der nach vorne hervorsteht, ist in einem Bereich ausgebildet, der dem Zentrum der Verbindungsscheibe **48** näher ist, und der hintere Endbereich der Folgestufen-Rotationsausgangswelle, der sich von einer zentralen Durchgangsöffnung eines rückseitigen Stirnplattenbereichs **33a** des zylindrischen Gehäuses **33** des Folgestufenaktuators **3** nach hinten erstreckt, ist an diesem vorderseitigen Bereich angebracht und befestigt. Die Verbindungsscheibe **48** ist durch ein Kugellager **49** rotierbar an dem rückseitigen Stirnplattenbereich **33a** des zylindrischen Gehäuses **33** abgestützt. Darüber hinaus ist die ringförmige Nabe **46c** des flexiblen, außen verzahnten Folgestufenzahnrades **46** an der Stirnfläche an der hinteren Stirnseite der Verbindungsscheibe **48** angebracht und befestigt.

[0028] Als Nächstes hat der Folgestufenwellgenerator **47** eine zentrale Durchgangsöffnung **47a**, durch die sich eine hohle Motorwelle **41a** des Folgestufenmotors **41** nach vorne erstreckt. Der Folgestufenwellgenerator **47** ist am äußeren Umfang dieser hohlen Motorwelle **41a** angebracht und befestigt. Dementsprechend wird die Eingriffsposition der beiden Zahnräder **45**, **46** durch den Folgestufenwellgenerator **47**, der durch die hohle Motorwelle **41a** des Vorstufenmotors **41** mit hoher Drehzahl rotiert wird, in Umfangsrichtung bewegt, wodurch aufgrund der Differenz in der Anzahl der Zähne zwischen den beiden Zahnrädern eine relative Rotation zwischen den beiden Zahnrädern **45**, **46** erzeugt wird. Da das steife, innen verzahnte Folgestufenzahnrad **45** so festgehalten wird, dass es nicht rotiert, wird dem flexiblen, außen verzahnten Folgestufenzahnrad **46** eine Ausgangsrotation mit erheblich reduzierter Drehzahl entnommen und über die Verbindungsscheibe **48** und die Folgestufenrotationsausgangswelle **6**, die mit die-

ser verbunden ist, vom inneren Ring **13** des zweistufigen Kreuzrollenlagers **2** ausgehen.

[0029] Ein Problem, das in mehrstufigen Kreuzrollenlagern auftritt, die derart aufgebaut sind, dass Kreuzrollenlager konzentrisch in mehreren Stufen angeordnet sind, ist, dass im mittleren Ring, der als der innere Ring des äußeren Kreuzrollenlagers und als der äußere Ring des inneren Kreuzrollenlagers wirkt, eine vorkompressierende Deformation auftritt, die es schwierig macht, eine laufruhige Rotation des inneren und des äußeren Kreuzrollenlagers sicherzustellen. Dieses Problem kann jedoch dadurch gelöst werden, dass das zweistufige Kreuzrollenlager **2** so wie im vorliegenden Ausführungsbeispiel, wie es im Folgenden beschrieben wird, aufgebaut ist.

[0030] In der folgenden Beschreibung wird auf die **Fig. 2** Bezug genommen. Im zweistufigen Kreuzrollenlager **2** sind die Rollen im Bereich des inneren Kreuzrollenlagers, insbesondere die inneren Rollen **17**, kleiner als die Rollen im Bereich des äußeren Kreuzrollenlagers, insbesondere die äußeren Rollen **15**. Das Rollenzentrum **12** der inneren Rollen **17** ist in Bezug auf das Rollenzentrum L1 der äußeren Rollen **15** entlang der Achse **1a** verschoben.

[0031] Daher können im zweistufigen Kreuzrollenlager **2** vorkompressierende Spannungen, die von innen und außen auf den mittleren Ring **12** wirken, aufgrund der kleineren Rollengröße des inneren Kreuzrollenlagerbereichs mit kleinerem Durchmesser und der größeren Rollengröße des äußeren Kreuzrollenlagerbereichs mit größerem Durchmesser ausgeglichen werden, wenn das zweistufige Kreuzrollenlager **2** zusammengebaut ist. Darüber hinaus können vorkompressierende Deformationen, die im mittleren Ring **12** auftreten, im Vergleich zu dem Fall, in dem diese Elemente in radialer Richtung in der gleichen Ebene angeordnet sind, reduziert werden, da das Rollenzentrum L1 des äußeren Kreuzrollenlagers gegenüber dem Rollenzentrum **12** des inneren Kreuzrollenlagers in Richtung seiner Achse **1a** verschoben ist. Im Ergebnis kann die vorkompressierende Deformation des mittleren Ringes minimiert werden, wenn das zweistufige Kreuzrollenlager **2** zusammengebaut ist, und eine laufruhige Rotation der jeweiligen Kreuzrollenlagerelemente kann sichergestellt werden.

[0032] Hierbei ist das Ausmaß der Verschiebung Δ des Rollenzentrums **12** der inneren Rollen **17** in Bezug auf das Rollenzentrum L1 der äußeren Rollen **15** vorzugsweise ein Wert in einem Bereich von der Hälfte der Spurbreite $W(16)$ der inneren Spur **16** bis zur Hälfte der Summe der Werte dieser Spurbreite $W(16)$ und der Spurbreite $W(14)$ der äußeren Spur **14**. Wenn das Ausmaß der Verschiebung kleiner als ein Wert in diesem Bereich ist, kann eine vorkompressierende Deformation des mittleren Ringes nicht in ausreichendem Maß minimiert werden, und daher

kann eine geschmeidige Rotation der Kreuzrollenlager nicht sichergestellt werden. Ein Erhöhen des Ausmaßes der Verschiebung auf ein Niveau, das größer ist, als ein Wert in diesem Bereich, führt in Bezug auf den Effekt des Minimierens der vorkompressierenden Deformation durch die Verschiebung zu keiner weiteren Verbesserung und die Breitenabmessung des zweistufigen Kreuzrollenlagers in Richtung der Zentralachse wird größer, was unerwünscht ist, um die Form der Kreuzrollenlagerelemente so flach wie möglich zu gestalten.

$$W(16)/2 < \Delta < \{W(16) + W(14)\}/2$$

[0033] In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist das Ausmaß der Verschiebung Δ die Hälfte der Spurbreite $W(14)$ der äußeren Spur **14** und die Rollennachse **12** ist in Bezug auf das Rollenzentrum L1 näher in Richtung der ringförmigen Stirnseite **12a** positioniert, um die Form des zweistufigen Kreuzrollenlagers **2** flach zu machen und dabei gleichzeitig die vorkompressierende Deformation des mittleren Ringes **12** zu minimieren.

[0034] Darüber hinaus ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Dicke $t(12)$ des mittleren Ringes **12** in radialer Richtung von der kreisförmigen inneren Umfangsfläche **12d** zur kreisförmigen äußeren Umfangsfläche **12e** auf wenigstens das zweifache der Dicke $t(11)$ des äußeren Ringes von der kreisförmigen inneren Umfangsfläche **11d** zu seiner kreisförmigen äußeren Umfangsfläche **11e** festgelegt, um eine vorkompressierende Deformation des mittleren Ringes **12** zuverlässig zu vermeiden.

[0035] Darüber hinaus sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel die ringförmigen Stirnflächen des äußeren Ringes **11**, des mittleren Ringes **12** und des äußeren Ringes **13** auf im Wesentlichen identischen Ebenen positioniert, wobei die äußere Spur **14** in der Nähe der inneren Stirnflächen des äußeren Ringes **11** und des mittleren Ringes **12** und die innere Spur **16** auf die gleiche Weise in der Nähe der inneren Stirnfläche des mittleren Ringes **12** und des inneren Ringes **13** positioniert sind. Einfügeöffnungen **12f**, **13f** zum Einfügen der Rollen sind in den inneren Stirnflächen des mittleren Ringes **12** und des inneren Ringes **13** ausgebildet und durch Stöpsel **18**, **19** verschlossen. Die äußere Spur **14** und die innere Spur **16** sind somit in Richtung der Zentralachse **1a** des Lagers zur Seite in der Nähe der Stirnfläche an der Rolleneinfügestelle verschoben. Daher kann das zweistufige Kreuzrollenlager **2** einfacher zusammengebaut werden.

(Weitere Ausführungsbeispiele)

[0036] Während das zuvor beschriebene Ausführungsbeispiel die Anwendung der vorliegenden Erfindung auf einen konzentrischen zweiachsigen Ak-

tuator betrifft, kann die vorliegende Erfindung auf die gleiche Weise auch auf einen konzentrischen mehrachsigen Aktuator angewandt werden, in dem Aktuatoren in Reihe in drei oder mehr Stufen angeordnet sind und die Rotation jeder Stufe auf der gleichen Seite ausgegeben wird. Z. B. ist im Falle eines konzentrischen dreiachsigen Aktuators, wie in der **Fig. 3** gezeigt ist, ein dreistufiges Kreuzrollenlager an der Vorderseite angeordnet und auf seiner Rückseite sind ein Vorstufenaktuator, ein Mittelstufenaktuator und ein Folgestufenaktuator koaxial verbunden.

[0037] Die folgende Beschreibung nimmt Bezug auf **Fig. 3**. Der konzentrische dreiachsige Aktuator **51** hat ein dreistufiges Kreuzrollenlager **52**, einen Vorstufenaktuator **53**, der koaxial auf der Rückseite des dreistufigen Kreuzrollenlagers **52** angeordnet ist, einen Mittelstufenaktuator **54**, der koaxial auf der Rückseite des Vorstufenaktuators **53** angeordnet ist, und einen Folgestufenaktuator **55**, der koaxial auf der Rückseite des Mittelstufenaktuators **54** angeordnet ist. Der Vorstufenaktuator **53** hat einen Vorstufenhohlbereich **56**, der sich in Richtung einer Achse **51a** durch sein Zentrum erstreckt. Der Mittelstufenaktuator **54** ist auf ähnliche Weise mit einem Mittelstufenhohlbereich **57** ausgestattet, der sich in Richtung der Achse **51a** durch sein Zentrum erstreckt, und eine Mittelstufenrotationsausgangswelle **58**, die hohl aufgebaut ist, erstreckt sich nach vorne, so dass sie durch den Vorstufenhohlbereich **56** verläuft. Der Folgestufenaktuator **55** hat eine Folgestufenrotationsausgangswelle **59**, und die Folgestufenrotationsausgangswelle **59** erstreckt sich nach vorne, wobei sie durch den Mittelstufenhohlbereich **57** und den Hohlbereich der Mittelstufenrotationsausgangswelle **58** verläuft.

[0038] Das dreistufige Kreuzrollenlager **52** hat einen äußeren Ring **61**, einen ersten mittleren Ring **62**, der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist, einen zweiten mittleren Ring **63**, der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist, und einen inneren Ring **64**, der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist. Darüber hinaus ist zwischen dem äußeren Ring **61** und dem ersten mittleren Ring **62** eine ringförmige äußere Spur **65** mit rechteckigem Querschnitt ausgebildet, und mehrere äußere Rollen **66** sind rollbar in die äußere Spur **65** eingefügt, wobei ihre Zentralachsen alternierend orthogonal ausgerichtet sind. Eine ringförmige mittlere Spur **67** mit ringförmigen Querschnitt ist zwischen dem ersten und dem zweiten mittleren Ring **62**, **63** ausgebildet, und mehrere mittlere Rollen **68** sind rollbar darin eingeführt, wobei ihre Zentralachsen alternierend orthogonal ausgerichtet sind. Auf die gleiche Weise ist zwischen dem zweiten mittleren Ring **63** und dem inneren Ring **64** eine ringförmige innere Spur **69** mit rechteckigem Querschnitt ausgebildet, und mehrere innere Rollen **70** sind rotierbar darin eingefügt, wobei ihre Zentralachsen alternierend orthogonal ausgerichtet sind.

[0039] Der erste mittlere Ring **62** ist ein Vorstufenrotationsausgabeelement, das von dem Vorstufenaktuator **53** rotierend angetrieben wird, der zweite mittlere Ring ist ein Mittelstufenrotationsausgabeelement, das fest mit der Mittelstufenrotationsausgangswelle **58** verbunden ist, und der innere Ring **64** ist ein Folgestufenrotationsausgabeelement, das fest mit der Folgestufenrotationsausgangswelle **59** verbunden ist.

[0040] Als Vorstufenaktuator **53** kann ein Aktuator verwendet werden, der im Aufbau dem Vorstufenaktuator **3** aus **Fig. 1** vergleichbar ist; und als Mittelstufenaktuator **54** kann ein Aktuator verwendet werden, der im Aufbau dem Folgestufenaktuator **4** aus **Fig. 1** vergleichbar ist. Als Folgestufenaktuator **55** kann ein Aktuator verwendet werden, der wie der Folgestufenaktuator **4** aus **Fig. 1** aufgebaut ist, wobei aber die Motorwelle **41a** eine massive Welle ohne den Folgestufenhohlbereich **7** ist.

[0041] Es ist auch möglich, dass der Folgestufenaktuator **55** einen hohlen Aufbau vergleichbar dem Folgestufenaktuator **4** aus **Fig. 1** hat und dass die Folgestufenrotationsausgangswelle **59** eine hohle Welle ist. Dabei kann ein hohler Bereich ausgebildet sein, der durch das Zentrum des konzentrischen dreiachsigen Aktuators **51** verläuft, der es erlaubt, diesen Bereich zum Verlegen von Leitungen oder Ähnlichem zu verwenden.

Patentansprüche

1. Konzentrischer mehrachsiger Aktuator, **dadurch gekennzeichnet**, dass er aufweist: ein mehrstufiges Kreuzrollenlager (**2**), einen Vorstufenaktuator (**3**), der koaxial an einer Rückseite des mehrstufigen Kreuzrollenlagers (**2**) angeordnet ist, und einen Folgestufenaktuator (**4**), der koaxial an einer Rückseite des Vorstufenaktuators (**3**) angeordnet ist; wobei der Vorstufenaktuator (**3**) einen Vorstufenhohlbereich (**5**) hat, der sich in Richtung einer Achse (**1a**) durch sein Zentrum erstreckt; der Folgestufenaktuator (**4**) eine Folgestufenrotationsausgangswelle (**6**) hat, die sich durch den Vorstufenhohlbereich (**5**) nach vorne erstreckt; das Vorstufenkreuzrollenlager (**2**) einen äußeren Ring (**11**), einen mittleren Ring (**12**), der konzentrisch innerhalb des äußeren Ringes (**11**) angeordnet ist, einen inneren Ring (**13**), der konzentrisch innerhalb des mittleren Ringes (**12**) angeordnet ist, eine ringförmige äußere Spur (**14**) mit rechteckigem Querschnitt, die zwischen dem äußeren Ring (**11**) und dem mittleren Ring (**12**) ausgebildet ist, mehrerer äußeren Rollen (**15**), die rollbar in die äußere Spur (**14**) eingefügt sind, eine ringförmige innere Spur (**16**) mit rechteckigem Querschnitt, die zwischen dem mittleren Ring (**12**) und dem inneren Ring (**13**) ausgebildet ist, und

mehrerer innerer Rollen (17), die rollbar in die innere Spur (16) eingefügt sind, hat;
 der mittlere Ring (12) ein Vorstufenrotationsausgangselement ist, das rotierbar von dem Vorstufenaktuator (3) angetrieben wird; und
 der innere Ring (13) ein Folgestufenrotationsausgangselement ist, das an der Folgestufenrotationsausgangswelle (6) befestigt ist.

2. Konzentrischer mehrachsiger Aktuator nach Anspruch 1, wobei
 der Folgestufenaktuator (4) einen Folgestufenhohlbereich (7) hat, der sich durch sein Zentrum erstreckt, die Folgestufenrotationsausgangswelle (6) eine hohle Welle ist, und
 der innere Ring (13) mit einer zentralen Durchgangsöffnung ausgebildet ist, und
 der Folgestufenhohlbereich (7), der Hohlbereich der Folgestufenrotationsausgangswelle (6) und die zentrale Durchgangsöffnung des inneren Ringes (13) einen hohlen Bereich bilden, der sich entlang einer Richtung der Achse 1a dadurch erstreckt.

3. Konzentrischer mehrachsiger Aktuator nach Anspruch 2, wobei
 der Vorstufenaktuator (3) einen Vorstufenmotor (31) und einen Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer (32) hat,
 der Vorstufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer (32) ein Vorstufenreduzierergehäuse (34), ein steifes, innen verzahntes Vorstufenzahnrad (35), das koaxial an einer Innenseite des Vorstufenreduzierergehäuses befestigt ist, ein flexibles, außen verzahntes Vorstufenzahnrad (36), das zylinderhutförmig ist und koaxial auf einer Innenseite des steifen, innen verzahnten Vorstufenzahnrades angeordnet ist, einen Vorstufenwellgenerator (37), der in eine Innenseite des flexiblen, außen verzahnten Vorstufenzahnrades eingepasst ist, und eine zentrale Durchgangsöffnung (37a), die in dem Vorstufenwellgenerator (37) ausgebildet ist, hat;
 das Vorstufenreduzierergehäuse (34) an dem äußeren Ring (11) befestigt ist; das flexible, außen verzahnte Vorstufenzahnrad (36) am mittleren Ring (12) befestigt ist; und der Vorstufenwellgenerator (37) an einer hohlen Motorwelle (31a) des Vorstufenmotors (31) befestigt ist, wobei sich die hohle Motorwelle (31a) durch die zentrale Durchgangsöffnung (37a) des Vorstufenwellgenerators (37) erstreckt;
 der Folgestufenaktuator (4) einen Folgestufenmotor (41) und einen Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer (42) hat;
 der Folgestufen-Wellgetriebe-Belastungsreduzierer (42) ein Folgestufenreduzierergehäuse (44), ein steifes, innen verzahntes Folgestufenzahnrad (45), das koaxial an einer Innenseite des Folgestufenreduzierergehäuses (44) befestigt ist, ein flexibles, außen verzahntes Folgestufenzahnrad (46), das die Form eines Zylinderhutes hat und koaxial auf einer Innenseite des steifen, innen verzahnten Folgestufen-

zahnrades (45) angeordnet ist, einen Folgestufenwellgenerator (47), der in eine Innenseite des flexiblen, außen verzahnten Folgestufenzahnrades (46) eingepasst ist, und eine zentrale Durchgangsöffnung (47a), die in dem Folgestufenwellgenerator (47) ausgebildet ist, hat;
 das Folgestufengehäuse (44) an dem Motorgehäuse (43) des Vorstufenmotors (31) befestigt ist; das flexible, außen verzahnte Folgestufenzahnrad (46) an einem hinteren Ende der Folgestufenrotationsausgangswelle (6) befestigt ist; und der Folgestufenwellgenerator (47) an einer Motorwelle (41a) des Folgestufenmotors (41), die sich durch die zentrale Durchgangsöffnung (41a) des Folgestufenwellgenerators (41) erstreckt, befestigt ist.

4. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator (1) nach Anspruch 3, wobei
 eine Rollengröße der inneren Rollen (17) kleiner als eine Rollengröße der äußeren Rollen (15) ist, und ein Rollenzentrum (L2) der inneren Rollen (17) gegenüber einem Rollenzentrum (L1) der äußeren Rollen (15) in Richtung der Achse (1a) versetzt ist.

5. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator (1) nach Anspruch 4, wobei eine Versatzgröße (Δ) des Rollenzentrums (L2) der inneren Rollen (17) in Bezug auf das Rollenzentrum der äußeren Rollen (15) in einem Bereich von der Hälfte einer Spurbreite der inneren Spur (16) bis zur Hälfte der Summe des Wertes dieser Spurbreite und einer Spurbreite der äußeren Spur (14) ist.

6. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator nach Anspruch 4, wobei die Versatzgröße (Δ) die Hälfte der Spurbreite der äußeren Spur (14) ist.

7. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator (1) nach Anspruch 4, wobei eine Dicke des mittleren Ringes (12) in radialer Richtung von seiner kreisförmigen inneren Umfangsfläche zu seiner kreisförmigen äußeren Umfangsfläche wenigstens das Doppelte einer Dicke des äußeren Ringes (11) in radialer Richtung von seiner kreisförmigen inneren Umfangsfläche zu seiner kreisförmigen äußeren Umfangsfläche ist.

8. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, wobei
 die äußere Spur (14) und die innere Spur (16) im äußeren Ring (11), im mittleren Ring (12) und im inneren Ring (13) an Positionen ausgebildet sind, die näher an den Oberflächen auf einer Seite als an den Oberflächen auf der anderen Seite davon sind, und in den Oberflächen auf einer Seite des mittleren Ringes (12) und des inneren Ringes (13) Rolleneinfügeöffnungen (12f, 13f) ausgebildet und mit Stöpseln (18, 19) verschlossen sind.

9. Konzentrischer mehrstufiger Aktuator (1) nach Anspruch 1, der zusätzlich aufweist:

einen Mittelstufenaktuator (54), der zwischen dem Vorstufenaktuator (53) und dem Folgestufenaktuator (55) angeordnet ist, wobei der Mittelstufenaktuator (54) einen Mittelstufenhohlbereich (57), der sich entlang der Richtung einer Achse durch sein Zentrum erstreckt, und eine Mittelstufenrotationsausgangswelle (58) hat, die hohl ausgebildet ist und sich durch den Mittelstufenhohlbereich (56) nach vorne erstreckt, sich die Folgestufenrotationsausgangswelle (59) des Folgestufenaktuators (55) durch den Mittelstufenhohlbereich (57) und den Hohlbereich der Mittelstufenrotationsausgangswelle (58) nach vorne erstreckt, das mehrstufige Kreuzrollenlager (52) als mittleren Ring einen ersten mittleren Ring (62) und einen zweiten mittleren Ring (63), der konzentrisch innerhalb davon angeordnet ist, hat, zwischen dem ersten mittleren Ring (62) und dem zweiten mittleren Ring (63) eine ringförmige Mittelspur (67) mit rechteckigem Querschnitt ausgebildet ist, wobei mehrere mittlere Rollen (68) rotierbar in die innere Spur eingefügt sind, der erste mittlere Ring (62) ein Vorstufenrotationsausgangselement ist, das von dem Vorstufenaktuator (53) rotierend angetrieben wird, und der zweite mittlere Ring (63) ein Mittelstufenrotationsausgangselement ist, das fest mit der Mittelstufenrotationsausgangswelle (58) verbunden ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

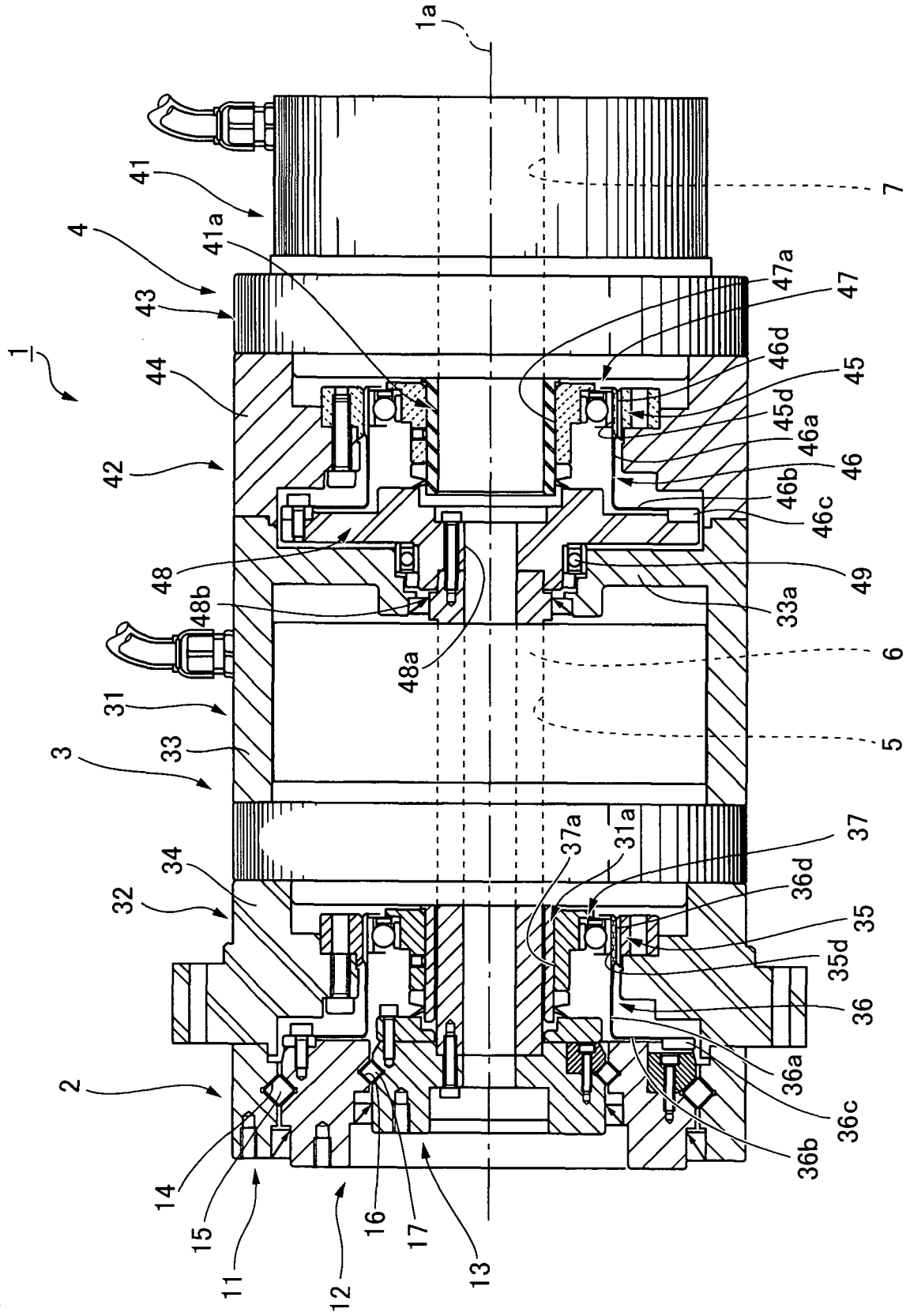


FIG. 2

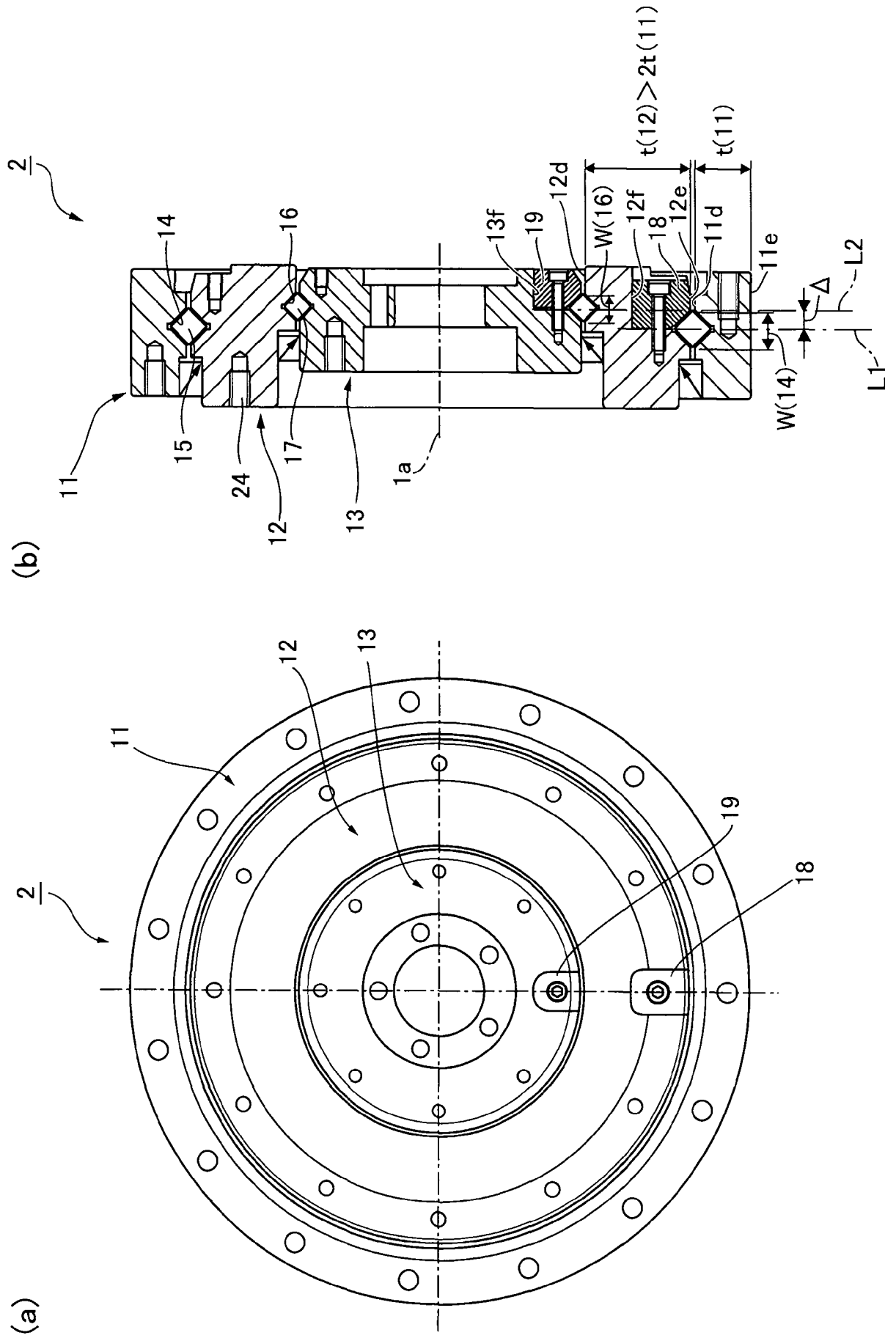


FIG. 3

