



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 252 787 A5

4(51) B 25 J 17/02

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

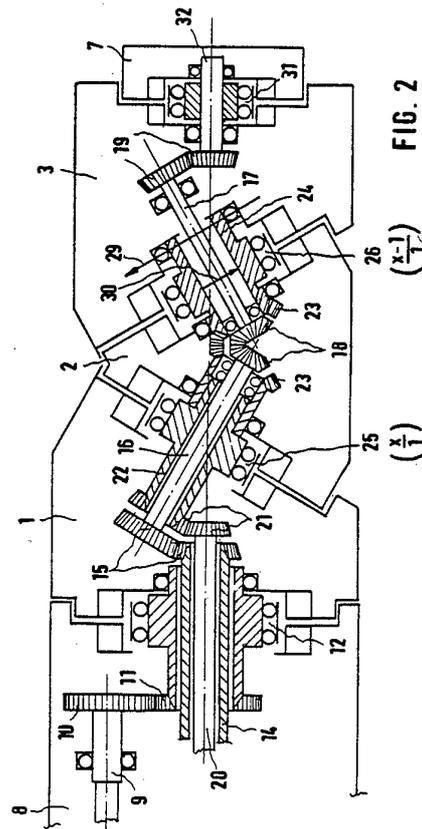
(21)	AP B 25 J / 297 633 4	(22)	15.12.86	(44)	30.12.87
(31)	P3545068.1	(32)	19.12.85	(33)	DE

(71) siehe (73)
 (72) Zimmer, Ernst, DE
 (73) KUKA Schweißanlagen & Roboter GmbH, Blücherstraße 144, 8900 Augsburg, DE

(54) Getriebekopf für Manipulatoren

(55) Manipulator, Getriebekopf, Getriebekopfteile, Werkzeugträger, Untersetzungsgetriebe, Harmonic-Drive-Differentialgetriebe, Untersetzungs-Differenz, Eigendrehbewegung, Winkeltrieb, Dynamic Spline, Circular Spline.

(57) Die Erfindung bezieht sich auf die getriebliche Ausgestaltung eines mehrteiligen Getriebekopfes für einen Manipulator. Danach sind drei in Reihe angeordnete Kopfteile 1, 2, 3 längs schräger Achsen 5, 6 aneinander gelagert, wobei im einzelnen Antriebszug abtriebsseitig je ein hoch untersetzendes Getriebe 25, 26, z. B. Harmonic-Drive-Differentialgetriebe, vorgesehen ist. Um gleichförmige und daher leichter berechenbare Drehbewegungen des mittleren und vorderen Kopfteles 2, 3 zu erreichen, wird vorgeschlagen, eine Untersetzung x für das eine der beiden Untersetzungsgetriebe 25, 26, die dem mittleren sowie vorderen Getriebekopf 2, 3 zugeordnet sind, und eine Untersetzung $x - 1$ für das andere der beiden Untersetzungsgetriebe 25, 26 zu wählen. Außerdem wird die Eigendrehbewegung des mittleren Kopfteles 2 zur Kompensation der Untersetzungs-Differenz eingesetzt, indem der Winkeltrieb 23 zwischen den schrägen Wellen 22, 24 dementsprechend gestaltet ist. Fig. 2



Patentansprüche:

1. Getriebekopf für Manipulatoren mit drei hintereinander angeordneten und um zueinander schräge Achsen gelagerten Kopfteilen, deren schräge Achsen mit der Grundachse des Getriebekopfes in Streckstellung nach entgegengesetzten Seiten sich öffnende, spitze Winkel bilden, wobei an der Eingangsseite des hinteren Kopfteiles die Antriebswellen für die Kopfteile und gegebenenfalls für einen im vorderen Kopfteil gelagerten Werkzeugträger konzentrisch zueinander angeordnet und hoch untersetzende Getriebe abtriebsseitig auf den längs der schrägen Achsen sich erstreckenden und über Winkelgetriebe miteinander verbundenen Welle vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich die Untersetzung (x) des einen Untersetzungsgetriebes (25) zwischen dem hinteren Kopfteil (1) und mit mittleren Kopfteil (2) von der Untersetzung (x-1) des anderen Untersetzungsgetriebes (26) zwischen dem mittleren Kopfteil (2) und dem vorderen Kopfteil (3) um eine Umdrehung unterscheidet, wobei der die beiden schrägen Wellen (22, 24) verbindende Winkeltrieb (23) so angeordnet ist, daß eine Kompensation dieses Untersetzungs-Unterschiedes durch gegenseitige Abwälzung der Winkeltriebäder (23) während einer Umdrehung des mittleren Kopfteiles (2) erfolgt.
2. Getriebekopf nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß gleiche Harmonic-Drive-Differentialgetriebe als Untersetzungsgetriebe (25, 26) verwendet, diese aber zur Erreichung der Untersetzungsdifferenz mit zueinander ungleicher Abstützung ihrer Stahlringe (Dynamic Spline [DS] bzw. Circular Spline [CS]) eingebaut werden.
3. Getriebekopf nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ungleiche Harmonic-Drive-Differentialgetriebe als Untersetzungsgetriebe (25, 26) verwendet, diese aber zur Erreichung der Untersetzungsdifferenz mit zueinander gleicher Abstützung ihrer Stahlringe (Dynamic-Spline [DS] bzw. Circular-Spline [CS]) eingebaut werden.
4. Getriebekopf nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Anordnung eines angetriebenen Werkzeugträgers (7) dessen Antriebswellenzug (14, 15, 16, 17, 18, 19, 31, 32) durch die sich längs der schrägen Achsen (5, 6) erstreckenden, hohlen Wellen (22, 24) geführt ist.

Hierzu 5 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Getriebekopf für Manipulatoren mit drei hintereinander angeordneten und um zueinander schräge Achsen gelagerten Kopfteilen, deren schräge Achsen mit der Grundachse des Getriebekopfes in Streckstellung nach entgegengesetzten Seiten sich öffnende, spitze Winkel bilden, wobei an der Eingangsseite des hinteren Kopfteiles die Antriebswellen für die Kopfteile und gegebenenfalls für einen im vorderen Kopfteil gelagerten Werkzeugträger konzentrisch zueinander angeordnet und hoch untersetzende Getriebe abtriebsseitig auf den längs der schrägen Achsen sich erstreckenden und über Winkelgetriebe miteinander verbundenen Wellen vorgesehen sind.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Eine solche Anordnung ist durch die DE-OS 3428748 bekannt geworden. Mit dem Stand der Technik wird das Ziel verfolgt, einen Getriebekopf mit einem wesentlich vergrößerten Bewegungsspielraum bei kompakter Bauweise zu entwickeln. Zuzufolge der Lagerung der einzelnen Getriebekopfteile längs schräger Achsen ist die Möglichkeit gegeben, den vorderen Getriebekopfteil, der meistens einen Werkzeugträger aufnimmt, in eine Schwenklage zu bringen, bei der die Wirkrichtung des Werkzeugträgers sogar entgegengesetzt zur Richtung des den Getriebekopf tragenden Auslegers oder dergleichen verläuft.

Bei solchen vorbekannten Getriebeköpfen ist es konstruktiv denkbar, im hinteren Getriebekopfteil drei konzentrisch zueinander angeordnete Antriebswellen zu lagern. Wenn aber jeder Getriebekopfteil drehbar angetrieben werden soll und außerdem auch der Werkzeugträger in Rotation versetzt werden muß, dann ergibt sich die Konsequenz, die Drehbewegung von zwei dieser vier Teile über eine gemeinsame Antriebswelle herbeizuführen.

Bei einer vergleichbaren, vorbekannten Anordnung nach der DE-OS 3431033 sind der hintere und der vordere Getriebekopfteil über einen Kegelradzahnkranz miteinander verbunden. Auf diese Weise wird der vordere Getriebekopfteil zufolge des Antriebes des mittleren Getriebekopfteiles am hinteren Getriebekopfteil abgewälzt. Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 7 der eingangs genannten DE-OS 3428748 sind die längs der schrägen Achsen sich erstreckenden Wellen über einen Kegelradsatz miteinander verbunden. Die erste schräge Welle treibt über ein hoch untersetzendes Getriebe den mittleren Getriebekopfteil und die zweite schräge Welle über ein anderes, hoch untersetzendes Getriebe den vorderen Getriebekopfteil an. Dieser Stand der Technik nach der DE-OS 3428748 wird als der nächstliegende angesehen, weil er zufolge der Anordnung hochuntersetzender Getriebe am abtriebsseitigen Ende des einzelnen Getriebezuges dafür sorgt, daß das Getriebeispiel nicht Einfluß auf die Genauigkeit der gesteuerten Bewegung nimmt. Außerdem kann der vorbekannte Getriebekopf wesentlich schlanker als vergleichbare, andere... bekannte Getriebeköpfe ausgebildet werden, weil zufolge der abtriebsseitigen Anordnung der hoch untersetzenden Getriebe die

Antriebswellen hochtourig angetrieben und dementsprechend klein dimensioniert sind. Der Auslegerarm bzw. der hintere Getriebekopfteil, der maximal drei konzentrisch zueinander angeordnete Antriebswellen aufweist, kann demzufolge im Durchmesser verhältnismäßig schlank dimensioniert werden.

Die vorbekannte Anordnung nach Fig. 7 der DE-OS 34 28 748 bringt aber Probleme hinsichtlich der rechnerischen Festlegung der Antriebssteuerungen mit sich. Dies hängt damit zusammen, daß sich die Untersetzungsgetriebe an Kopfteilen abstützen müssen, welche selbst für sich rotierende Bewegungen ausführen. Mithin müssen solche Relativ-Drehbewegungen rechnerisch erfaßt und bei der Steuerung der einzelnen Antriebsmotore berücksichtigt werden.

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung wird die rechnerische Festlegung der Bewegung der Getriebekopfteile vereinfacht und außerdem der Antrieb für einen gegebenenfalls im vorderen Kopfteil gelagerten Werkzeugträger ermöglicht.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine noch bessere getriebliche Ausgestaltung für einen mehrstufigen Getriebekopf vorzusehen, wobei es im wesentlichen darauf ankommt, die Eigenbewegung des mittleren Kopfteil zu kompensieren. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß sich die Untersetzung des Untersetzungsgetriebes zwischen dem hinteren Kopfteil und dem mittleren Kopfteil von der Untersetzung des anderen Untersetzungsgetriebes zwischen dem mittleren Kopfteil und dem vorderen Kopfteil um eine Umdrehung unterscheidet, wobei der die beiden schrägen Wellen verbindende Winkeltrieb so angeordnet ist, daß eine Kompensation dieses Untersetzungs-Unterschiedes durch gegenseitige Abwälzung der Winkeltriebbräder während einer Umdrehung des mittleren Kopfteil erfolgt.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß man die Eigenbewegung des mittleren Kopfteil kompensieren muß, wenn man die rechnerische Steuerung der Bewegung des vorderen Getriebekopfteil vereinfachen will. Bei der Erfindung wird nämlich davon ausgegangen, daß der mittlere Kopfteil und der vordere Kopfteil durch den gleichen Antriebszug angetrieben werden, nämlich durch Wellen, die sich längs der schrägen Achsen erstrecken und untereinander über Winkelgetriebe verbunden sind. Diese Wellen sind außerdem abtriebsseitig mit den hochuntersetzenden Getrieben versehen, deren Wirkung darauf beruht, daß sich ein Getriebeteil abstützt, damit das andere Getriebeteil mit einer wesentlich geringeren Drehzahl angetrieben werden kann. Das dem vorderen Getriebekopfteil zugeordnete, hoch untersetzende Getriebe muß sich folgerichtig am mittleren Kopfteil abstützen. Dieses mittlere Kopfteil vollzieht aber zufolge des gemeinsamen Antriebes eine Eigenbewegung, die dazu führt, daß sich der vordere Getriebekopfteil in einer anderen Drehgeschwindigkeit als der mittlere Kopfteil dreht.

Wenn man aber den die schrägen Wellen verbindenden Winkeltrieb erfindungsgemäß anordnet, so daß die Eigenumdrehung des mittleren Getriebekopfteil kompensiert wird, dann ergibt wieder eine gleichgroße Drehbewegung des mittleren und vorderen Getriebekopfteil.

Ausführungsvarianten für diese Kompensation des Untersetzungsunterschiedes ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 4. Danach werden vornehmlich Harmonic-Drive-Differentialgetriebe als Untersetzungsgetriebe verwendet, diese aber zur Erreichung der Untersetzungsdifferenz mit unterschiedlicher Abstützung ihrer Stahlringe (Dynamic Spline [DS] bzw. Spline [CS]) eingebaut. Von diesen Getrieben weiß man, daß sich unterschiedliche Untersetzungen ergeben, je nachdem, ob der Dynamic Spline oder der Circular Spline zur Abstützung eingesetzt werden. Bei einem solchen Differentialgetriebe ist die Untersetzung vom Unterschied der Zähnezahlen dieser Dynamic Spline bzw. Circular Spline abhängig. Gewöhnlich erhält der Dynamic Spline eine gerade Zähnezahl und der Circular Spline eine um zwei Zähne vergrößerte Zähnezahl. Der außerdem bei solchen Getrieben eingesetzte, sogenannte Flex Spline, ein dünnwandiger Ring mit Außenverzahnung, besitzt die gleiche Zähnezahl wie der Dynamic Spline.

Schließlich weist ein solches Harmonic-Drive-Differentialgetriebe einen elliptischen Wave Generator auf. Diese Wave Generator und der Flex Spline haben im Normalfall entgegengesetzte Drehrichtungen, und der Dynamic Spline wird als Abtrieb mit gleicher Drehrichtung wie der Flex Spline verwendet. Der Circular Spline wird festgelegt und stützt die Drehbewegung bzw. das Abtriebsmoment des Dynamic Spline ab. Die Funktionen des Circular Spline und des Dynamic Spline können jedoch auch umgekehrt werden. Bei festgelegtem Dynamic Spline ändert sich jedoch die Untersetzung, während der Circular Spline als Abtrieb die gleiche Drehrichtung wie der Wave-Generator besitzt.

Wenn man z. B. von einer Zähnezahl von 200 für den Dynamic Spline und eine Zähnezahl von 202 für den Circular Spline ausgeht, ergeben sich folgende Untersetzungen:

Abtrieb durch Dynamic Spline (DS)

$$i = n_{WG}/n_{DS} = Z_{DS}/(Z_{DS}) = 200/-2 = -100$$

Abtrieb durch den Circular Spline (CS)

$$i = n_{WG}/n_{CS} = Z_{CS}/(Z_{CS} - Z_{DS}) = 202/2 = +101$$

Verschiedene Vorzeichen bedeuten entgegengesetzte Drehrichtungen des Abtriebes.

Setzt man demzufolge die Untersetzungsgetriebe je nach ihrer Abstützung richtig ein und wählt auch noch die Drehrichtung der einzelnen Wellen bzw. der anzutreibenden Kopfteile richtig, dann gelingt es ohne großen Aufwand, die Eigendrehung des mittleren Kopfteil relativ zur Drehung des vorderen Kopfteil zu kompensieren.

In den nachfolgenden Ausführungsbeispielen werden diese Zusammenhänge verdeutlicht.

Schließlich sieht die Erfindung vor, daß bei Anordnung eines angetriebenen Werkzeugträgers dessen Antriebswellenzug durch die sich längs der schrägen Achsen erstreckenden, hohlen Wellen geführt ist. Diese Maßnahme ist zwar an sich durch die DE-OS 3431033 bekannt, wobei aber zu bemerken ist, daß diese Druckschrift keine im Getriebekopf angeordneten Untersetzungsgetriebe aufweist und daher bei gleicher Steifigkeit und Spielfreiheit wesentlich größer als der erfindungsgemäße Getriebekopf dimensioniert werden muß.

Ausführungsbeispiel

Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Zeichnung. In ihr ist die Erfindung schematisch und beispielsweise dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1: eine schematische Seitenansicht eines mehrteiligen Getriebekopfes,

Fig. 2: einen Vertikalschnitt durch den Getriebekopf gemäß Fig. 1 mit einer symbolischen Darstellung der Getriebezüge und

Fig. 3 + 8: vereinfachte Darstellungen der Getriebezüge im Bereiche des mittleren und vorderen Getriebekopfteiles in mehreren Ausführungsvarianten.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist in vereinfachter Darstellung ein Getriebekopf in Seitenansicht dargestellt, bei dem an einem Ausleger 8 oder einem entsprechenden Grundelement eines Manipulators der hintere Kopfteile 1 um die Grundachse 4 drehbar gelagert ist. Dieser hintere Kopfteile 1 führt ein mittleres Kopfteile 2, welches um die schräge Achse 5 drehbar am hinteren Kopfteile 1 gelagert ist. Der vordere Kopfteile 3 ist seinerseits um die schräge Achse 6 am mittleren Kopfteile 2 gelagert. Schließlich ist ein Werkzeugträger 7 dargestellt, der wahlweise ortsfest am vorderen Kopfteile 3 angeordnet oder auch drehbar an diesem vorderen Kopfteile 3 gelagert sein kann. Im Falle der drehbaren Lagerung des Werkzeugträgers 7 wird vorgezogen, seine Drehachse koaxial zur Grundachse 4 anzuordnen.

Die schrägen Achsen 5, 6 sind so angeordnet, daß sie zur Grundachse 4 spitze Winkel α bilden und zwar in der Gestalt, daß die Winkel α sich nach entgegengesetzten Richtungen öffnen. Verdreht man die Kopfteile 2, 3 um die schrägen Achsen 5, 6 dann ergibt sich ein maximaler Bewegungsspielraum des Werkzeugträgers 7, dessen Wirkungsrichtung sogar entgegengesetzt zur Richtung des Auslegers 8 eingestellt werden kann. Es sei darauf hingewiesen, daß auch ungleich große spitze Winkel, z. B. α_1 und α_2 , vorgesehen sein können.

Im Beispiel der Fig. 2 sind, ausgehend von der Anordnung gemäß Fig. 1, die Antriebszüge innerhalb des Gelenkkopfes symbolisch dargestellt. Man erkennt, daß im Ausleger 8 sowie an der Eingangsseite des hinteren Kopfteiles 1 konzentrisch zueinander angeordnete Antriebswellen 13, 14, 20 vorgesehen sind.

Die äußere Hohlwelle 13 der konzentrischen Wellen wird über ein Stirnradpaar 10, 11 von einer außermittigen Antriebswelle 9 angetrieben. Diese Hohlwelle 13 treibt über ein hoch untersetzendes Getriebe 12 den hinteren Kopfteile 1 an, der am Ausleger 8 drehbar gelagert ist.

Eine innenliegende Hohlwelle 14 treibt über das Kegelradpaar 15, die schräge Welle 16, das Kegelradpaar 18, die schräge Welle 17 und das Kegelradpaar 19 eine Antriebswelle 32 an, welche über das Untersetzungsgetriebe 31 mit dem Werkzeugträger 7 verbunden ist.

Die innenliegende Antriebswelle 20 treibt über das Kegelradpaar 21, die schräge Hohlwelle 22 und das Kegelradpaar 23 die schräge Hohlwelle 24 an.

Beide Hohlwellen 22, 24 sind im mittleren Kopfteile 2 drehbar gelagert und mit hoch untersetzenden Getrieben 25, 26 verbunden.

Das Untersetzungsgetriebe 25 stützt sich am hinteren Kopfteile 1 ab und treibt beispielsweise im Untersetzungsverhältnis x den mittleren Kopfteile 2 an. Das Untersetzungsgetriebe 26 stützt sich am mittleren Kopfteile 2 ab und treibt im gleichen Beispiel in der Untersetzung $x - 1$ den vorderen Kopfteile 3 an. Außerdem ist bei diesem Beispiel wichtig, daß die Drehrichtung 29 des vorderen Kopfteiles 3 umgekehrt zur Drehrichtung 30 der diesen vorderen Kopfteile 3 antreibenden schrägen Hohlwelle verläuft.

Diese Differenzierung der Untersetzungsverhältnisse beider Untersetzungsgetriebe 25 und 26 sowie die richtige Wahl der Drehrichtung der einzelnen Wellen und Kopfteile führt dazu, daß die Kopfteile 2, 3 gleichgroße Drehbewegungen ausführen, obwohl sie von einer gemeinsamen Antriebswelle angetrieben werden und zueinander Relativbewegungen ausführen.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 3 wird davon ausgegangen, daß der Werkzeugträger 7 angetrieben werden soll vgl. Fig. 1 und 2. Infolge dessen sind innenliegende, schräge Wellen 16, 17 durch das Kegelradpaar 18 miteinander verbunden.

Es wird davon ausgegangen, daß beim Untersetzungsgetriebe 25 der Dynamic Spline am hinteren Kopfteile 1 abgestützt wird. Folglich treibt der Circular Spline ab und zwar in einer Untersetzung 101:1, wenn man von einer Zähnezah 200 beim Dynamic Spline und einer Zähnezah 1 von 202 beim Circular Spline ausgeht.

Die schrägen Hohlwellen 22, 24 sind durch das Kegelradpaar 23 in einer Anordnung miteinander verbunden, daß sie gleichsinnig umlaufen. Der im Bereich dieser Hohlwellen 22, 24 angedeutete Pfeil mag eine Uhrzeiger-Drehrichtung andeuten.

Das andere Untersetzungsgetriebe 26, welches an sich die gleiche Beschaffenheit wie das Untersetzungsgetriebe 25 aufweist, ist umgekehrt angeordnet, indem der Circular Spline am mittleren Kopfteile 2 festgelegt wird und der Dynamic Spline abtreibt. Dabei ergibt sich eine Untersetzung von 100:1, ausgehend von der oben angegebenen Zähnezah, jedoch mit dem Unterschied, daß der angetriebene, vordere Kopfteile 3 gegensinnig zur Drehrichtung der Hohlwelle 24 umläuft.

Es ergibt sich also die Konsequenz, daß die Hohlwellen 22, 24 sowie der mittlere Kopfteile 2 in der einen Richtung und der vordere Kopfteile 3 in der anderen Richtung rotieren. Die Kompensation der unterschiedlichen Untersetzungsverhältnisse ergibt sich dadurch, daß sich bei der Relativbewegung der Kopfteile 2, 3 deren Kegelräder 23 aneinander korrigierend abwälzen. Man kann sich dies so verdeutlichen: Hält man die Hohlwelle 22 fest und verdreht den mittleren Kopfteile 2 um die schräge Achse 5, dann erfolgt dadurch eine Umdrehung der schrägen Hohlwelle 24 zufolge der Abwälzung am feststehenden Kegelrad des Kegelradpaares 23. Diese zusätzliche Umdrehung der Hohlwelle 24 führt dazu, daß die Kopfteile 2, 3 tatsächlich die gleichgroßen Drehbewegungen, wenngleich auch im umgekehrten Drehsinn, ausführen.

Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 4 ist beabsichtigt, einen gleichen Drehsinn zwischen den Kopfteilen 2 und 3 herbeizuführen. Bei einer mit Fig. 3 vergleichbaren Ausführung wird das Untersetzungsgetriebe 25 über den Dynamic Spline am hinteren Kopfteile 1 abgestützt, was zu einer Untersetzung 101:1 mit der Folge führt, daß die Drehrichtungen der Hohlwelle 22 und des mittleren

Kopfteil 2 und vorderen Kopfteil 3 befindet sich, entsprechend der Fig. 3, das Untersetzungsgetriebe 26, bei dem der Circular Spline am mittleren Kopfteil 2 abgestützt ist. Daraus folgt eine Untersetzung 100:1 in umgekehrter Drehrichtung von Hohlwelle 24 und vorderem Kopfteil 3. Um aber dennoch einen gleichen Drehsinn der beiden Kopfteile 2, 3 herbeizuführen, sieht Fig. 4 die Anordnung eines Zwischenrades 27 vor, welches die Kegelräder des Kegelradpaares 23 voneinander distanziert und in einem Lager 28 des mittleren Kopfteiles 2 geführt ist. Auch in diesem Falle erfolgt eine Kompensation der Drehbewegung des mittleren Kopfteiles 2, so daß gleichgroße Drehbewegungen der Kopfteile 2, 3 im gleichen Drehsinn die Folge sind.

Bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 5 bis 8 wird davon ausgegangen, daß der Werkzeugträger 7 am vorderen Kopfteil 3 nicht drehbar angetrieben sein muß. Daraus folgt, daß die Anordnung des Winkeltriebes 23 auch anders gerichtet sein kann als im Falle der Fig. 3 und 4.

Wie die Pfeile an den Wellen 22, 24 der Fig. 5 zeigen, rotieren diese durch die Anordnung des Kegelradpaares 23 somit gegenläufig.

Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 5 ist ein gleicher Drehsinn der Kopfteile 2, 3 gewollt. Dies erreicht man dadurch, daß beim Untersetzungsgetriebe 25 der Dynamic Spline ortsfest am hinteren Kopfteil 1 abgestützt ist, was zur Folge hat, daß der mittlere Kopfteil 2 im gleichen Drehsinn zur Drehrichtung der Welle 22 mit einem Untersetzungsverhältnis von 101:1 angetrieben wird. Die Welle 24 rotiert umgekehrt zur Welle 22. Da aber beim Untersetzungsgetriebe 26 der Circular Spline ortsfest am mittleren Kopfteil 2 abgestützt wird, ergibt sich eine Drehrichtungsumkehr im Untersetzungsverhältnis 100:1 mit der Folge, daß die Kopfteile 2, 3 gleichsinnig rotieren und die Eigenbewegung des mittleren Kopfteiles 2 kompensiert wird.

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 6 hat zum Ziel, die Kopfteile 2, 3 gegensinnig rotieren zu lassen, wobei aber bei beiden Untersetzungsgetrieben 25, 26 die Dynamic Spline ortsfest abgestützt sein sollen. Um in diesem Falle eine gleichgroße Drehung der Kopfteile 2, 3 herbeizuführen, wird die Untersetzung in einem der beiden Harmonic-Driver-Getriebe geringfügig geändert. Der Circular Spline des Untersetzungsgetriebes 25 erhält im angeführten Beispiel 204 Zähne, wohingegen die Dynamic Spline nur 202 Zähne aufweist. Daraus ergibt sich eine Untersetzung.

$$i = Z_{CS} / (Z_{CS} - Z_{DS}) = 204 / (204 - 202) = 102$$

Daraus ist also ersichtlich, daß das Untersetzungsgetriebe 25 wiederum eine um eine Umdrehung erhöhte Untersetzung gegenüber derjenigen des Untersetzungsgetriebes 26 besitzt. Bei diesem Untersetzungsgetriebe 26 ist der Dynamic Spline am mittleren Kopfteil festgelegt, was zu einer Untersetzung 101:1 führt bei gleicher Drehrichtung von Welle 24 und vorderem Kopfteil 3.

Beim Ausführungsbeispiel der Fig. 7 soll der gleiche Zweck wie im Falle der Fig. 6 erreicht werden, indem die Kopfteile 2, 3 gegensinnig rotieren sollen. Anders als in Fig. 6 wird das Untersetzungsgetriebe 25 in normaler Ausführung wie bei Fig. 3 eingesetzt, mit der Folge, daß der mittlere Kopfteil 2 gleichsinnig zur Welle 22 bei einer Untersetzung 101:1 rotiert. Zwischen den Kegelrädern des Kegelradpaares 23 ist in diesem Falle wiederum ein Zwischenrad 27 angeordnet. Das Untersetzungsgetriebe 26 ist so angeordnet, daß der Circular Spline ortsfest im mittleren Kopfteil 2 gehalten wird. Daraus ergibt sich eine Untersetzung 100:1 mit umgekehrter Drehrichtung von Welle 24 und vorderem Kopfteil 3. Die Kompensation erfolgt — trotz gegenläufigem Drehsinn — durch das Zwischenrad 27.

Im Falle der Fig. 8 wird ein gleicher Drehsinn der Kopfteile 2, 3 angestrebt. Hierbei ist das Untersetzungsgetriebe 25 wieder im Sinne des Beispiels der Fig. 6 mit erhöhter Zähnezahl 204 Zähne Circular Spline, 202 Zähne Dynamic Spline ausgestattet. Beim Untersetzungsgetriebe 26 ist ebenfalls der Dynamic Spline am mittleren Kopfteil 2 ortsfest festgelegt. Die Kompensation erfolgt wiederum durch das Zwischenrad 27, wobei auch in diesem Falle festzustellen ist, daß die Drehrichtung der Welle 24 und des vorderen Kopfteiles 3 gleichsinnig sind.

Die Wirkungsweise aller Ausführungsbeispiele der Fig. 2 bis 8 bleibt erhalten, wenn der Dynamic Spline (DS) und der Circular-Spline (CS) jedes Untersetzungsgetriebes 25, 26 gegeneinander getauscht werden, womit das Untersetzungsgetriebe 26 die Untersetzung $x - 1$ und das Untersetzungsgetriebe (x) erhält. Dann rotieren die Kopfteile 2, 3 entgegengesetzt zu den in Fig. 2 bis 8 angegebenen Drehrichtungen.

Anstelle der sogenannten Harmonic-Drive-Differentialgetriebe können durchaus auch gleich- oder ähnlichwirkende Untersetzungsgetriebe, z. B. Planeten-Getriebe, erfindungsgemäß eingesetzt werden.

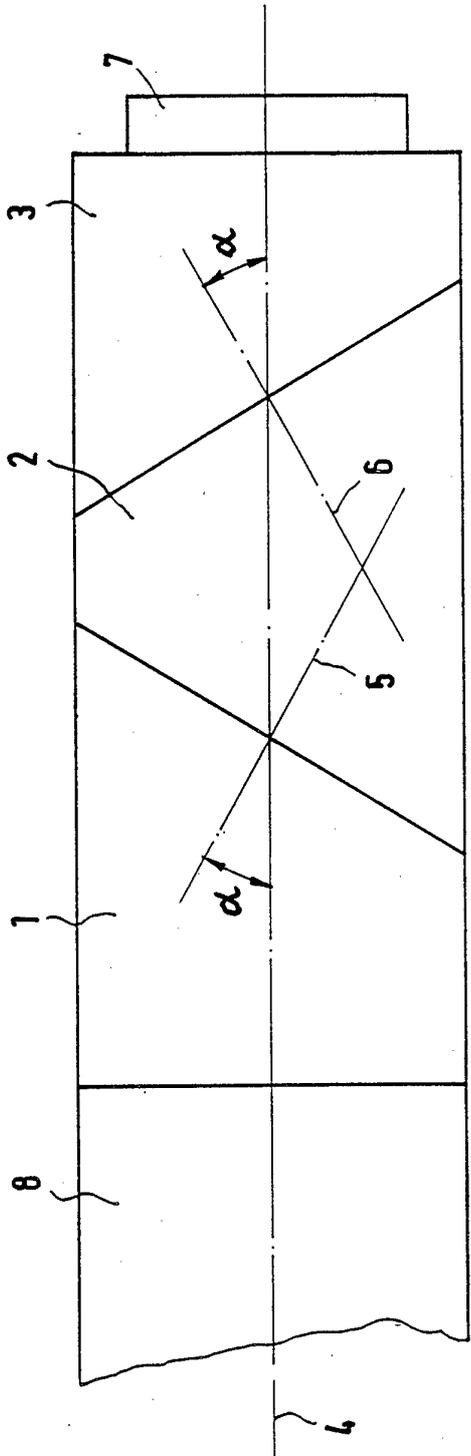


FIG. 1

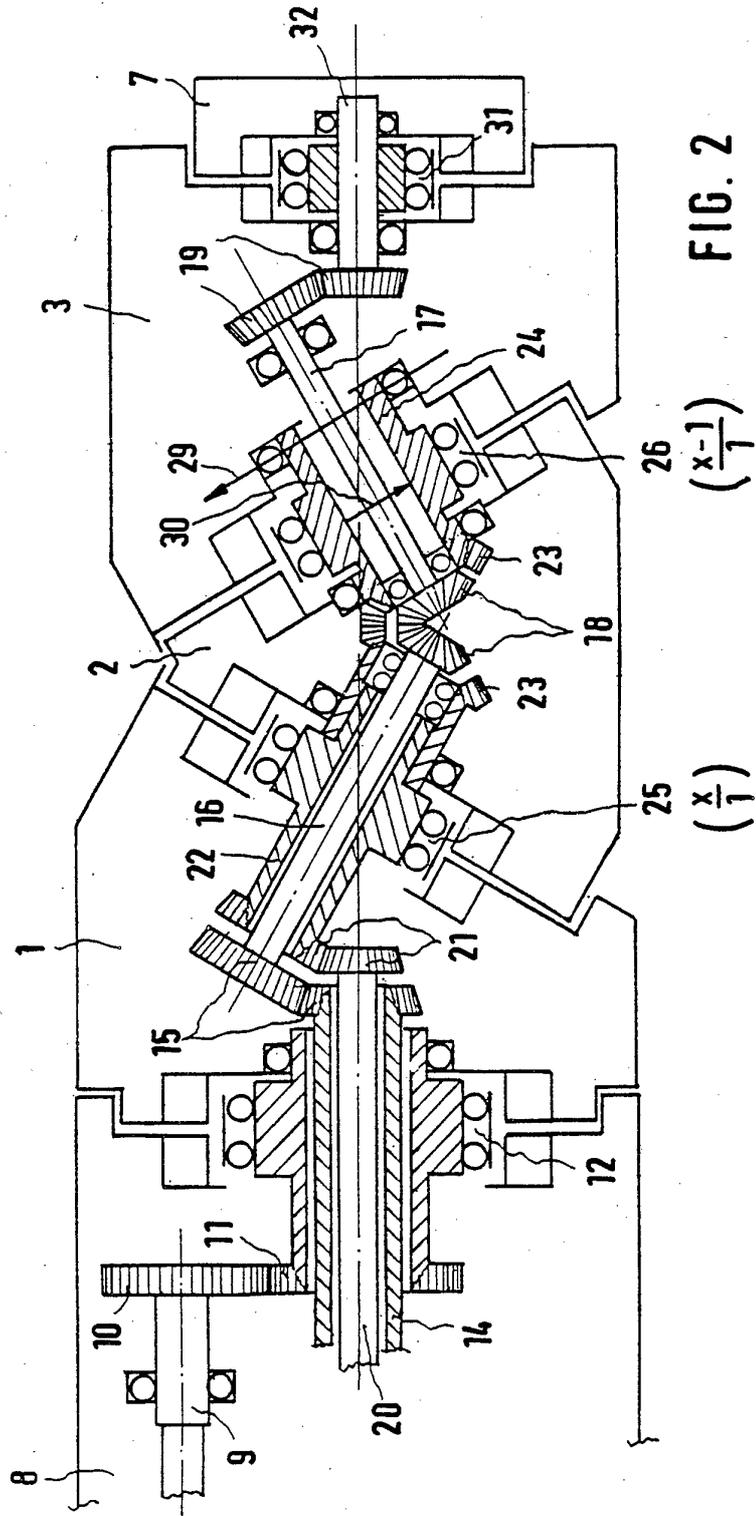


FIG. 2

$(\frac{x-1}{1})$

$(\frac{x}{1})$

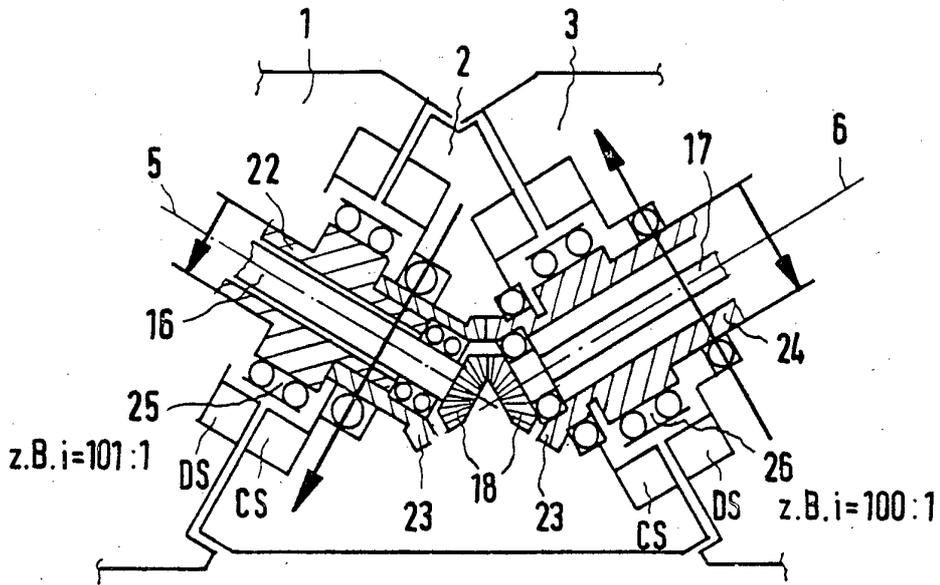


FIG. 3

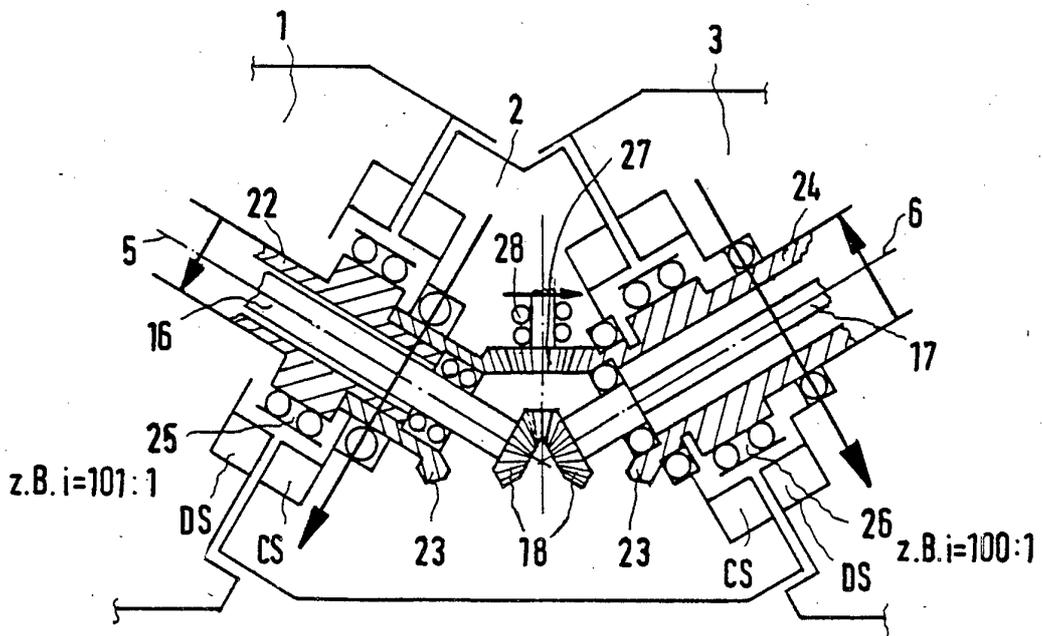


FIG. 4

