

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 697 260 B1

(51) Int. Cl.: F16M 11/06 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 00833/04

(22) Anmeldedatum: 10.05.2004

(30) Priorität: 30.06.2003 DE 103 29 549.6
20.02.2004
DE 10 2004 008 381.9

(24) Patent erteilt: 31.07.2008

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.07.2008

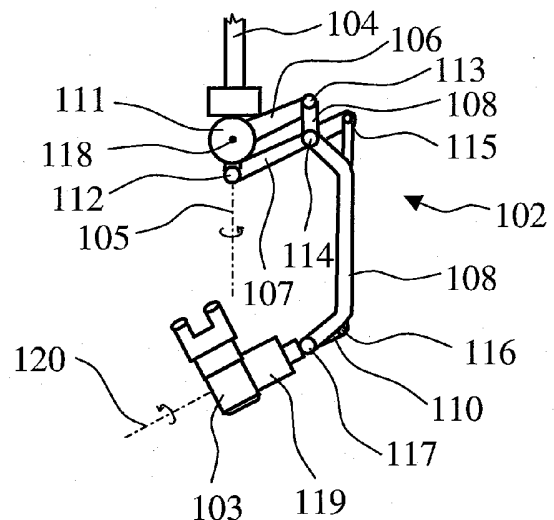
(73) Inhaber:
Carl Zeiss
89518 Heidenheim (DE)

(72) Erfinder:
Martin Kraus, 73460 Hüttlingen (DE)
Hartmut Gärtner, 73447 Oberkochen (DE)
Martin Poxleitner, 89551 Königsbronn (DE)
Michael Wirth, 73434 Aalen (DE)
Alfons Abele, 73527 Schwäbisch (DE)
Roland Brenner, 75449 Wallhausen (DE)
Norbert Sporer, 82407 Wielenbach (DE)
Matthias Hähle, 82407 Wielenbach (DE)

(74) Vertreter:
Luchs & Partner Patentanwälte, Schulhausstrasse 12
8002 Zürich (CH)

(54) Haltevorrichtung, insbesondere für ein medizinisch-optisches Instrument, mit Mitteln zum Ausgleich eines Last-Drehmoments.

(57) Die Erfindung betrifft eine Haltevorrichtung (101) für ein medizinisch-optisches Instrument (103), bei dem in einem Drehgelenk (111, 119) zum Ausgleich eines in diesem Drehgelenk auftretenden Last-Drehmoments ein Elektromotor vorgesehen ist. Dieser Elektromotor wird entsprechend einer erfassten Stellung des Drehgelenks (111, 119) bestromt. Eine hierfür erforderliche Stromsteuerkurve ist in einem Speicher abgelegt. Diese Stromsteuerkurve kann ermittelt werden, indem die Drehgelenke mit Elektromotor in vorbestimmte Stellungen ausgelenkt werden und der hierfür erforderliche Strombedarf erfasst wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Haltevorrichtung, insbesondere für ein medizinisch-optisches Instrument, mit wenigstens einem Drehgelenk und mit Mitteln zum Ausgleich eines Last-Drehmoments, welches das medizinisch-optische Instrument an dem Drehgelenk hervorruft.

[0002] Eine derartige Haltevorrichtung ist aus der DE 4 231 516 C2 bekannt. Dort ist ein verstellbares Stativ für ein Operationsmikroskop beschrieben. Das Stativ weist ein erstes und ein zweites Drehgelenk auf. Diesen Drehgelenken ist jeweils ein elastischer Energiespeicher zugeordnet. Der elastische Energiespeicher enthält eine Drehfeder, deren Vorspannung eingestellt werden kann. Die elastischen Energiespeicher erzeugen ein Ausgleichsdrehmoment, das einem von dem am Stativ aufgenommenen Operationsmikroskop hervorgerufenen Last-Drehmoment in den Drehgelenken entgegenwirkt.

[0003] In der DE 4 320 443 C2 ist eine Haltevorrichtung für ein medizinisch-optisches Instrument beschrieben, bei der motorisch verstellbare Ausgleichsgewichte vorgesehen sind, um in Drehachsen der Haltevorrichtung auftretende Last-Drehmomente zu kompensieren.

[0004] Die US 5 642 220 offenbart eine Haltevorrichtung für ein medizinisch-optisches Instrument, in der zur Erzeugung eines Gegendrehmoments zur Kompensation von Last-Drehmomenten eine Linearfedereinheit oder ein Gasdruckzylinder vorgesehen ist. Die Linearfedereinheit oder der Gasdruckzylinder wirken auf einen Hebelarm. Indem ein Angriffspunkt von Gasdruckzylinder bzw. Linearfedereinheit variiert wird, kann ein gewünschtes Ausgleichsmoment eingestellt werden.

[0005] In der US 5 402 582 ist eine Haltevorrichtung zur Aufnahme eines Tastkopfes zur Vermessung von Werkstücken beschrieben. Die Haltevorrichtung umfasst einen mehrgelenkigen Tragarm. In den Gelenken des Tragarmes sind Drehfedern vorgesehen. Diese Drehfedern erzeugen Drehmomente, die Last-Drehmomenten in diesen Gelenken entgegenwirken.

[0006] Die DE 4 202 922 A1 offenbart ein motorisches Stativ mit einem Operationsmikroskop als Haltevorrichtung für ein medizinisch-optisches Instrument. Dieses Stativ hat eine Tragsäule, die auf einem Standfuss gelagert ist und um eine vertikale Achse gedreht werden kann. An dieser Tragsäule ist ein mehrgelenkiger Tragarm angeordnet, der vier Drehgelenke mit motorischen Antrieben aufweist. Diesen motorischen Antrieben ist eine Steuereinheit zugeordnet. Die Steuereinheit ist mit Winkelgebern, die an den Drehgelenken angeordnet sind, verbunden. Der Steuereinheit wird dabei die gewünschte Stellung eines bestimmten Drehgelenks vorgegeben. Entsprechend der vorgegebenen Gelenkstellung eines Drehgelenks werden dann die Antriebe der Haltevorrichtung bestromt, um einen bestimmten Tragarmabschnitt an einem Drehgelenk in eine gewünschte Winkelstellung zu verfahren.

[0007] Aus der EP 1 152 182 A1 ist ein Operationsmikroskop mit einem Stativ bekannt, das eine im Wesentlichen horizontal verlaufende motorisch verstellbare Schwenkachse aufweist. In dieser Schwenkachse befindet sich ein Schrittmotor, der mittels eines Bedienungselements, in dem Kraft- oder Drehmomentsensoren vorgesehen sind, gesteuert wird und eine Servoverstellung des an dieser Achse aufgenommenen Operationsmikroskops ermöglicht.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Haltevorrichtung bereitzustellen, bei dem ein Gleichgewichtszustand zur kräftefreien Bewegung eines an der Haltevorrichtung aufgenommenen Instruments um ein Drehgelenk eingestellt werden kann und darüber hinaus ein servogesteuertes Bewegen des Instruments um diese Drehachse möglich ist.

[0009] Diese Aufgabe wird durch eine Haltevorrichtung der eingangs genannten Art gelöst, bei der die Mittel zum Ausgleich des Last-Drehmoments einen Elektromotor umfassen, der mit Mitteln zum Erfassen der Stellung des Drehgelenks kombiniert ist und in Abhängigkeit einer erfassten Drehgelenkstellung zur Erzeugung eines das Last-Drehmoment ausgleichenden Gegenmoments bestromt werden kann. Hierzu ist eine Steuereinheit vorgesehen, die den erforderlichen Motorstrom einstellt. Zum Ausgleich des Last-Drehmoments ordnet die Steuereinheit einem erfassten Drehgelenkstellungswert einen Wert für einen Motorstrom zu, der auf den Elektromotor ausgegeben wird und der bewirkt, dass der Elektromotor ein Gegenmoment erzeugt, welches das an dem Drehgelenk anliegende Last-Drehmoment ausgleicht. Auf diese Weise wird eine kompakt aufgebaute Haltevorrichtung geschaffen, die motorisch gekippt und geschwenkt werden kann und dabei leicht an unterschiedliche Konfigurationen eines medizinisch-optischen Instruments für Drehmomentenausgleich anpassbar ist.

[0010] In Weiterbildung der Erfindung ist dem Drehgelenk eine Bremse zugeordnet. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass sich die Haltevorrichtung bei unbestromtem Elektromotor nicht bewegt.

[0011] In Weiterbildung der Erfindung ist der Elektromotor mittels eines Getriebes mit dem Drehgelenk gekoppelt. Auf diese Weise wird eine präzise Einstellung eines Gleichgewichtszustands bei der Haltevorrichtung ermöglicht.

[0012] In Weiterbildung der Erfindung weist der Elektromotor eine Antriebsachse auf, die zu einer Drehachse des Drehgelenks versetzt verläuft. Auf diese Weise wird bei der Haltevorrichtung Platz für Anschlussgeräte an das medizinisch-optische Instrument geschaffen und es ist beispielsweise möglich, eine optische Strahlauskopplung in der betreffenden Drehachse vorzunehmen.

[0013] In Weiterbildung der Erfindung weisen die Mittel zum Erfassen der Stellung des Drehgelenks einen Encoder des Elektromotors oder einen Stellungsgeber auf. Auf diese Weise kann eine momentane Stellung des Drehgelenks präzise bestimmt werden.

[0014] In Weiterbildung der Erfindung ist der Steuereinheit des Elektromotors ein elektronischer Speicher zugeordnet, in dem eine Strom-Drehgelenkstellungskurve oder eine Tabelle mit zueinander passenden Stromwerten und Drehgelenk-

stellungen abgelegt ist. Auf diese Weise kann eine schnelle Zuordnung von erforderlichem Stromwert bei gegebener Stellung der medizinisch-optischen Ausrüstung gewährleistet werden.

[0015] In Weiterbildung der Erfindung sind wenigstens zwei Drehgelenke mit Mitteln zum Ausgleich eines Last-Drehmoments vorgesehen. Auf diese Weise wird ermöglicht, dass an der Haltevorrichtung aufgenommene medizinisch-optische Ausrüstung entsprechend mehreren Bewegungsfreiheitsgraden kräftefrei bewegt werden kann.

[0016] In Weiterbildung der Erfindung sind bei der Haltevorrichtung Mittel zum Erfassen einer zeitlichen Änderung der Stellung des Drehgelenks vorgesehen. Diese Mittel erfassen vorzugsweise eine zeitliche Änderung der Drehgelenkstellung durch mathematisches Ableiten der ermittelten Drehgelenkstellung nach der Zeit. Die ermittelte Änderung der Drehgelenkstellung wird dann als Regelgrösse einem Regelkreis zugeführt, der als Stellgrösse einen Motorstrom für den Elektromotor am Drehgelenk ausgibt. Dieser Motorstrom wird dem Motorstrom für Drehmomentausgleich überlagert, so dass der Motor ein zusätzliches Drehmoment erzeugt, welches einer ermittelten Änderung der Drehgelenkstellung entgegenwirkt.

[0017] Mit einem solchen Regelkreis ist es möglich, einer Bedienperson einen Trägheitseffekt zu simulieren. So kann beispielsweise bei einer als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung vermieden werden, dass sich das Zittern einer menschlichen Hand, die ein an der Haltevorrichtung aufgenommenes Instrument führt, auf das Instrument selbst überträgt. Gleichzeitig ermöglicht ein solcher Regelkreis, dass nicht vordefinierbare Kräfte und Momente, in der Chirurgie etwa Schnitt- und Rückstellkräfte beim Schneiden von elastischem Gewebe, beim Aufnehmen einer Resektion oder auch ausserhalb der Chirurgie beim Aufgreifen eines unbekannten Gegenstandes mit einem entsprechenden Werkzeug von einer Bedienperson als reale haptische Rückkopplung (Feedback) ohne verfälschende Fremdkräfte erfasst wird.

[0018] Im Bereich der Medizin werden beispielsweise Ärzte hierdurch in die Lage versetzt, ihre Hände von einem Operationsgebiet fernzuhalten. Dies eröffnet grundsätzlich die Möglichkeit, im laufenden Operationsbetrieb strahlungsintensive intraoperative Bildgebungsverfahren einzusetzen und auch hochinfektiöse Patienten zu behandeln. Da mit einer entsprechend als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung zitterarme, präzise Bewegungen ausgeführt werden können, ist bei Einsatz eines solchen Manipulators mit einem Operationsmikroskop in der Regel eine für präzise Interventionen häufig eingesetzte vorbereitungsintensive Navigation nicht mehr nötig.

[0019] Durch entsprechende aktive Überlagerung von Stromkurven bzw. Stromsteuerkurven mehrerer Elektromotoren des Manipulators im gewichtsausgeglichenen Zustand können bei Bedarf semi-robotische Funktionen realisiert werden. Zum Beispiel kann der Anwender mit einer geeigneten Steuerung von kritischen Bereichen eines Operationsgebiets entweder ganz fern gehalten werden oder er kann durch einen künstlichen Widerstand gewarnt werden, solange er dies wünscht. Hierzu können beispielsweise die Daten von Navigationstools, virtuellen 3D-Modellen oder 3D-Bahnen in den entsprechenden Motorpositionen zu additiv überlagerten Motorströmen umgesetzt werden. Auf dem Gebiet der Chirurgie kann so insbesondere sichergestellt werden, dass nur im Randbereich eines Tumors operiert wird.

[0020] Allgemein hat gegenüber der klassischen Robotertechnik das beschriebene Steuer- bzw. Regelprinzip für eine Haltevorrichtung den Vorteil, dass es keiner Kraft- und/oder Momentsensoren bedarf und keine komplexe, schwer zu beherrschende Sensor-Aktuatorregelung eingesetzt werden muss, der bestimmten Dynamikbereiche nur schwer zugänglich sind.

[0021] Wird bei der Haltevorrichtung die Masseverteilung der Tragarme so gewählt, dass wenigstens in etwa ein Gewichtsausgleich um Drehachsen zu den betreffenden Gelenken gegeben ist, können zum Verstellen der Haltevorrichtung vergleichsweise schwache Motoren eingesetzt werden. Diese Motoren müssen nämlich dann nur geringe Momente ausgleichen. Bei einer Haltevorrichtung, deren Tragarme um die Drehachsen von Drehgelenken ausbalanciert sind, wäre es beispielsweise nur erforderlich, dass die Motoren die von einem zusätzlich aufgenommenen Werkzeug in den Drehachsen hervorgerufenen Momente ausgleichen.

[0022] In Weiterbildung der Erfindung ist das medizinisch-optische Instrument mit einem Parallelogrammenker an einem Tragarm aufgenommen. Ein solcher Parallelogrammenker ermöglicht, die Mittel zum Ausgleich eines Last-Drehmoments ergonomisch günstig im Bereich eines Stativarms oberhalb des medizinisch-optischen Instruments anzuordnen. Ferner wird so eine stabile Aufnahme des medizinisch-optischen Instruments an der Haltevorrichtung gewährleistet.

[0023] In einem Verfahren zum Ermitteln einer Stromsteuerkurve für das Einstellen eines Gleichgewichtszustands in einer erfindungsgemässen Haltevorrichtung wird das wenigstens eine Drehgelenk mittels des Elektromotors um eine Achse des Drehgelenkes bewegt, der zur Bewegung des Drehgelenks erforderliche Strombedarf des Elektromotors ermittelt, die momentane Stellung des Drehgelenks bestimmt und der ermittelte Strombedarf in Abhängigkeit der Drehgelenkstellung in einem elektronischen Speicher als Stromsteuerkurve abgelegt. Auf diese Weise kann bei der Haltevorrichtung für unterschiedliche Konfigurationen von medizinisch-optischer Ausrüstung ein Gleichgewichtszustand eingestellt werden.

[0024] Es ist auch möglich, eine Stromsteuerkurve zu ermitteln, indem das wenigstens eine Drehgelenk mittels des Elektromotors in eine erste Richtung bewegt wird, wobei der zur Bewegung des Drehgelenks erforderliche Strombedarf des Elektromotors in Abhängigkeit der Stellung des Drehgelenks ermittelt wird, und darauf das wenigstens eine Drehgelenk mittels des Elektromotors in eine der ersten Richtung entgegengesetzte zweite Richtung bewegt wird, wobei der zur Bewegung des Drehgelenks erforderliche Strombedarf des Elektromotors in Abhängigkeit der Stellung des Drehgelenks ermittelt wird.

[0025] Vorzugsweise wird dann ein Mittelwert des für das Bewegen des wenigstens einen Drehgelenks in der ersten Richtung erforderlichen Strombedarfs und des für das Bewegen des wenigstens einen Drehgelenks in der zweiten Richtung erforderlichen Strombedarfs berechnet und in Abhängigkeit der Drehgelenkstellung in einem elektronischen Speicher als Stromsteuerkurve abgelegt. Auf diese Weise ist es möglich eine Stromsteuerkurve zu generieren, die nicht mit Fehlern, die auf Reibungskräfte in dem betreffenden Drehgelenk zurückgehen, behaftet ist.

[0026] Für das Ermitteln der Stromsteuerkurve des wenigstens einen Drehgelenks reicht es dabei aus, mit dem Elektromotor das Drehgelenk über einen Drehwinkelabschnitt $\Delta\varphi$ zu bewegen, bspw. $|\Delta\varphi| \leq \pi$ oder $|\Delta\varphi| \leq \pi/2$ oder $|\Delta\varphi| \leq \pi/4$, denn es kann aus einem Abschnitt einer erfassten Stromsteuerkurve auf den gesamten Verlauf der Stromsteuerkurve im Winkelbereich $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, der einer vollen Umdrehung des Drehgelenks entspricht, geschlossen werden. Auf diese Weise ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit, gegebenenfalls in wenigen Sekunden eine gewünschte Stromkurve bzw. Stromsteuerkurve für das Drehgelenk aufzunehmen.

[0027] Indem bei der Haltevorrichtung eine momentane Stellung des Drehgelenks erfasst und der Elektromotor entsprechend einer in einem Speicher abgelegten Stromsteuerkurve bestromt wird, kann ein Gleichgewichtszustand für die medizinisch-optische Ausrüstung dadurch hergestellt werden, dass einer bestimmten Stellung des Drehgelenks für den Elektromotor ein Stromwert für Drehmomentkompensation zugeordnet wird.

[0028] Es ist weiter auch möglich, eine momentane Änderung der Stellung des Drehgelenks zu bestimmen und dann einen der Änderung der Stellung des Drehgelenks entgegenwirkenden Strom auf den Elektromotor auszugeben.

[0029] Sind in der Haltevorrichtung mehrere Drehgelenke vorgesehen, die Mittel zum Ausgleich eines Last-Drehmoments mit Elektromotor aufweisen, so kann ein Gleichgewichtszustand eingestellt werden, indem eine momentane Stellung eines ersten Drehgelenks bestimmt wird, eine momentane Stellung eines zweiten Drehgelenks bestimmt wird, und ein dem ersten Drehgelenk zugeordneter Elektromotor und ein dem zweiten Drehgelenk zugeordneter Elektromotor entsprechend einer in einem Speicher abgelegten zweidimensionalen Stromsteuerkurve bestromt wird. Dabei ordnet die Stromsteuerkurve entsprechend der bestimmten momentanen Stellung der Drehgelenke den Elektromotoren der Drehgelenke jeweils einen Stromwert für Drehmomentkompensation zu.

[0030] Um eine entsprechende zweidimensionale Stromsteuerkurve für das Einstellen eines Gleichgewichtszustandes in einer Haltevorrichtung zu ermitteln, wird die Stellung eines ersten Drehgelenks erfasst, bei einer bekannten Stellung des ersten Drehgelenks ein zweites Drehgelenk mittels des dem zweiten Drehgelenk zugeordneten Elektromotors um seine Achse bewegt, und dann der zur Bewegung des zweiten Drehgelenks erforderliche Strombedarf des Elektromotors bestimmt. Dann wird die momentane Stellung des zweiten Drehgelenks erfasst und der bestimmte Strombedarf in Abhängigkeit der Stellung des zweiten Drehgelenks in einem elektronischen Speicher als erste Stromsteuerkurve abgelegt. Anschliessend wird bei einer bekannten Stellung des zweiten Drehgelenks das erste Drehgelenk mittels des zugeordneten Elektromotors um seine Achse bewegt, wobei der zur Bewegung erforderliche Strombedarf des Elektromotors ermittelt, entsprechend die momentane Stellung des ersten Drehgelenks bestimmt, und dann der ermittelte Strombedarf in Abhängigkeit der Stellung des zweiten Drehgelenks in einem elektronischen Speicher als zweite Stromsteuerkurve abgelegt wird.

[0031] Entsprechende Verfahren können zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes bei einer Haltevorrichtung mit drei und mehr Drehgelenken zur Anwendung kommen, indem geeignete drei- oder mehrdimensionale Stromsteuerkurven für Elektromotoren, die den Drehgelenken zugeordnet sind, ermittelt bzw. zum Ansteuern der Elektromotoren herangezogen werden.

[0032] Bei einer als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung muss gewährleistet sein, dass für jedes neu aufgenommene Instrument, Werkzeug oder Werkstück entweder eine vorherige Kalibrierung von positionsabhängigen Motorströmen vorgenommen wird oder für jeden aufgenommenen Gegenstand entsprechende Identifikationen zusammen mit den absoluten oder additiven positionsabhängigen Kompensations-Motorstromkurven etwa aus einem elektronischen Speicher abgerufen werden können. Hierzu können Gegenstände, die mit der Haltevorrichtung aufgenommen werden sollen, über einen Barcode oder einen Mikrochip mit einer automatischen Identifikation versehen werden. Darüber hinaus ist es möglich, die aus der Fertigungsindustrie bekannten Methoden zur Werkzeugidentifikation, wie sie bei automatischen Zufuhreinrichtungen bei Werkzeugmaschinen bekannt sind, zu verwenden.

[0033] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben.

[0034] Es zeigen:

- Fig. 1 eine Haltevorrichtung für ein Operationsmikroskop als medizinisch-optisches Instrument in einer ersten Stellung;
- Fig. 2 die Haltevorrichtung aus Fig. 1 in einer zweiten Stellung;
- Fig. 3 schematisch ein erstes Drehgelenk der Haltevorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 4 schematisch ein zweites Drehgelenk der Haltevorrichtung aus Fig. 1;

- Fig. 5 das Zustandekommen eines Drehmoments in einem Drehgelenk der Haltevorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 6 den Zusammenhang zwischen Drehgelenkstellung und einem an dem betreffenden Drehgelenk auftretenden Drehmoment;
- Fig. 7 schematisch eine Schaltungsanordnung zur Steuerung eines Elektromotors in einem Drehgelenk der Haltevorrichtung aus Fig. 1;
- Fig. 8 schematisch ein Drehgelenk mit medizinisch-optischem Instrument und Elektromotor;
- Fig. 9 Motorstromkurven des Elektromotors bei dem Drehgelenk aus Fig. 8;
- Fig. 10 eine Haltevorrichtung mit Operationsmikroskop;
- Fig. 11 schematisch eine Schaltungsanordnung zur Steuerung mehrerer Elektromotoren in einer Schaltungsanordnung mit mehreren Drehgelenken;
- Fig. 12 eine als Manipulator ausgebildete Haltevorrichtung;
- Fig. 13 schematisch eine Schaltungsanordnung mit Regelkreis zur Steuerung eines Elektromotors in einem Drehgelenk der als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung aus Fig. 9; und
- Fig. 14 eine Schaltungsanordnung mit Regelkreisen zur Steuerung von Elektromotoren in mehreren Drehgelenken einer Haltevorrichtung.

[0035] Die Fig. 1 zeigt eine Haltevorrichtung 101 mit einem Parallelogrammlenker 102, an dem ein Operationsmikroskop 103 als medizinisch-optische Ausrüstung aufgenommen ist. Die Haltevorrichtung 101 ist mittels eines Traglenkers 104 an einem nicht weiter dargestellten Stativ befestigt. An diesem Traglenker 104 kann die Haltevorrichtung 101 um eine vertikale Drehachse 105 gedreht werden.

[0036] Der Parallelogrammlenker 102 umfasst Lenker 106 bis 110 mit Drehgelenken 111 bis 117.

[0037] Dem Drehgelenk 111 ist ein erster Elektromotor zugeordnet. Dieser Elektromotor ermöglicht eine gesteuerte Bewegung der Parallelogrammlenker 102 um eine horizontale Drehachse 118. Bei dieser Bewegung wird das Operationsmikroskop seitlich verschwenkt.

[0038] An dem Lenker 110 ist ein weiteres Drehgelenk 119 mit einer Drehachse 120 aufgenommen. Auch diesem Drehgelenk 119 ist ein Elektromotor zugeordnet. Mit diesem Elektromotor kann um die Drehachse 120 eine Kippbewegung des Operationsmikroskops 103 gesteuert werden.

[0039] Die Fig. 2 zeigt die Haltevorrichtung 101 aus Fig. 1 in einer ausgelenkten Parallelogrammlenkerstellung. Die Einheiten der Haltevorrichtung in Fig. 2 sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet, die auch in Fig. 1 verwendet wurden. Das Operationsmikroskop 103 in Fig. 2 ist relativ zur Stellung des Operationsmikroskops in Fig. 1 seitlich verschwenkt.

[0040] Die Fig. 3 zeigt schematisch das Drehgelenk 111 der Haltevorrichtung 101 aus Fig. 1. Das Drehgelenk 111 hat einen ersten Gelenkteil 301 und einen zweiten Gelenkteil 302, der relativ zum Gelenkteil 301 bewegt werden kann. Der Gelenkteil 302 ist mit Lagereinheiten 303 und 304 an dem Gelenkteil 301 gelagert. Dem Drehgelenk 111 ist ein Elektromotor 305 zugeordnet, der mittels einer Welle 306 mit dem Gelenkteil 302 verbunden ist. Mit dem Elektromotor 305 kann ein Drehmoment erzeugt werden, das in den zweiten Gelenkteil 302 des Drehgelenks 111 eingeleitet wird.

[0041] Der Elektromotor 305 hat einen Encoder 307. Dieser Encoder 307 stellt ein Spannungssignal bereit, aus dem mit einer geeigneten Signalverarbeitungseinheit eine momentane Stellung des Elektromotors und damit der Welle 306 abgeleitet werden kann. Aus dem Spannungssignal des Encoders 307 kann somit die Stellung des Drehgelenks 111 bestimmt werden.

[0042] In dem Drehgelenk 111 ist weiter eine Magnetbremse 308 vorgesehen, die je nach Ansteuerung eine Bewegung des zweiten Gelenkteils relativ zum ersten Gelenkteil freigibt oder unterbindet.

[0043] Mit dem Drehmoment, das der Elektromotor 305 bereitstellt, kann entweder ein an dem zweiten Gelenkteil 302 anliegendes Last-Drehmoment ausgeglichen werden oder das Gelenkteil 302 kann entsprechend der Ansteuerung des Elektromotors 305 bewegt werden.

[0044] Die Fig. 4 zeigt schematisch das weitere Drehgelenk 119 aus Fig. 1. So wie das Drehgelenk 111 ist auch dem Drehgelenk 119 ein Elektromotor 405 zugeordnet, mit dem ein an einem Gelenkteil 402 anliegendes Drehmoment ausgeglichen werden kann. Der Elektromotor 405 ist in einem ersten Gelenkteil 401 des Drehgelenks 119 gehalten. Das Drehgelenk 119 umfasst weiter Lagereinheiten 403 und 404, die eine Bewegung des zweiten Gelenkteils 402 zu dem ersten Gelenkteil 401 ermöglichen.

[0045] Der Elektromotor 405 ist mit dem zweiten Gelenkteil 402 über ein Getriebe 406 gekoppelt. Dieses Getriebe umfasst ein Antriebsritzel 407, das auf einer Antriebswelle des Elektromotors 405 angeordnet ist. Dieses Antriebsritzel 407 kämmt mit einem Zahnkranz 408, der mit dem zweiten Gelenkteil fest verbunden ist.

[0046] Um auch bei unbestromtem Elektromotor eine Bewegung von erstem Gelenkteil 401 und zweitem Gelenkteil 402 freigegeben oder unterbinden zu können, ist in dem Drehgelenk 119 eine Magnetbremse 409 vorgesehen.

[0047] Das Drehgelenk 119 umfasst weiter einen Stellungsgeber 410, der ein Spannungssignal bereitstellt, das einer momentanen Stellung des Zahnkranzes 408 am zweiten Gelenkteil 402 des Drehgelenks 119 entspricht.

[0048] Anhand der Fig. 5 bis 7 ist erläutert, wie mit dem Elektromotor in den Drehgelenken ein an den Drehgelenken 111 oder 119 aus Fig. 1 auftretendes Last-Drehmoment kompensiert werden kann.

[0049] Hierzu zeigt die Fig. 5 schematisch ein Drehmoment 501, das an einem Drehgelenk 502 aufgrund einer Last mit Schwerpunkt 503, die mit einem Hebelarm 504 an dem Drehgelenk 502 aufgenommen ist, auftritt, weil diese Last einer Gewichtskraft 505 ausgesetzt ist. Als Funktion des Winkels $\#$ zwischen der Gewichtskraft 505 und dem Hebelarm 504 ergibt sich eine in Fig. 6 dargestellte Abhängigkeit des Betrags des im Drehgelenk 502 auftretenden Drehmoments D .

[0050] Es gilt: $D = IMg \sin \#$,
wobei:

- 1 die Länge des resultierenden Hebelarms
- M die Masse des Schwerpunkts,
- g die Erdbeschleunigungskonstante, und
- $\#$ der Winkel zwischen Hebelarm und der Richtung der Gewichtskraft ist.

[0051] Indem der Elektromotor in den Drehgelenken 111 und 119 der Haltevorrichtung 101 aus Fig. 1 so bestromt wird, dass er ein in den Drehgelenken auftretendes Last-Drehmoment kompensiert, wird an den Drehgelenken ein Gleichgewichtszustand eingestellt.

[0052] Zur automatischen Einstellung eines solchen Gleichgewichtszustandes ist der Elektromotor in diesen Drehgelenken entsprechend einer in der Fig. 7 gezeigten Schaltungsanordnung beschaltet. Die Schaltungsordnung 701 hat eine Motorsteuereinheit 702, die mit dem Elektromotor 703 verbunden ist. Der Motorsteuereinheit 702 werden Signale von einem Stellungsgeber 704 zugeführt, der als Winkelsensor oder als Encoder ausgebildet ist. Dieser Stellungsgeber 704 gibt eine momentane Winkelstellung des Drehgelenks an. Entsprechend einer momentan erfassten Winkelstellung des Drehgelenks wird eine in einem elektronischen Speicher 705 abgelegte Stromsteuerkurve ausgelesen. Diese Stromsteuerkurve entspricht dem bei jeder Stellung des Drehgelenks erforderlichen Stromwert für Drehmomentausgleich durch den Elektromotor.

[0053] Wird also die Stellung des Operationsmikroskops 103 aus Fig. 1 so verändert, dass die Drehgelenke 111 oder 119 mit Elektromotor bewegt werden, so steuert die betreffende Motorsteuereinheit den Motorstrom entsprechend der momentanen Drehgelenkstellungen derart, dass es in den Drehgelenken zu einem Drehmomentausgleich kommt. Hierfür wird für jedes Drehgelenk 111, 119 mit Elektromotor eine in betreffenden elektronischen Speichern abgelegte Stromsteuerkurve ausgelesen. Diese Stromsteuerkurve hängt von der Stellung der beiden Drehgelenke 111, 119 und von der Masseverteilung des an der betreffenden Haltevorrichtung aufgenommenen medizinisch-optischen Instruments ab. Wird diese Masseverteilung verändert, beispielsweise indem an das medizinisch-optische Instrument Peripheriegeräte angeschlossen werden, so muss für Drehmomentausgleich in Drehgelenken auf eine modifizierte Stromsteuerkurve zugegriffen werden.

[0054] Eine solche Stromsteuerkurve kann grundsätzlich auf einfache Weise ermittelt werden. Hierzu wird der zur Bewegung der Haltevorrichtung um die betreffenden Drehgelenke mittels Elektromotor erforderliche Strom als Funktion der momentanen Stellung dieser Drehgelenke erfasst und in dem betreffenden elektronischen Speicher abgelegt. Dabei wird beispielsweise das Drehgelenk 111 in eine bekannte Position bewegt und anschließend die Stromsteuerkurve für das Drehgelenk 119 aufgenommen. In einem nächsten Schritt wird dann das Drehgelenk 119 in eine bekannte Position verfahren und dann die entsprechende Stromsteuerkurve für das Drehgelenk 111 ermittelt. Aus den so ermittelten Stromkurven kann dann mittels trigonometrischer Funktionen ein zweidimensionaler Stromdatensatz für Gleichgewicht in einer jeden Stellung der Drehgelenke 111 und 119 bestimmt werden.

[0055] Um einen Servobetrieb des Elektromotors 703 für ein Drehgelenk einer beschriebenen Haltevorrichtung zu ermöglichen, sind der Motorsteuereinheit 702 Servoschalter 706 zugeordnet. Ein solcher Servobetrieb kann beispielsweise für eine Feinjustage des medizinisch-optischen Instruments an der Haltevorrichtung von Vorteil sein.

[0056] Anhand von Fig. 8 und Fig. 9 ist eine weitere Methode zum Ermitteln einer Stromsteuerkurve für Drehmomentausgleich an einem Drehgelenk einer Haltevorrichtung beschrieben.

[0057] Die Fig. 8 zeigt ein Drehgelenk 800 einer Haltevorrichtung, das eine um eine Achse 801 drehbar gelagerte Masse in Form eines medizinisch-optischen Instruments 802 trägt. Das medizinisch-optische Instrument 802 erfährt eine Schwerkraft in Richtung des Pfeils 803. Diese Schwerkraft ruft in der Achse 801 des Drehgelenks 800 ein Last-Drehmoment 804 hervor. Zur Kompensation dieses Last-Drehmoments 804 ist dem Drehgelenk 800 ein Antriebseinheit mit Elektromotor 805 zugeordnet. Der Elektromotor 805 ist mittels eines Getriebes 806 an die Achse 801 des Drehgelenks gekoppelt und

vermag so, das medizinisch-optische Instrument 802 in Richtung der Pfeile 807, 808 zu bewegen. Bei einer Bewegung des medizinisch-optischen Instruments 802 treten im Allgemeinen am Drehgelenk 800 Reibungskräfte und Beschleunigungskräfte auf. Diese Kräfte erweisen sich insbesondere als davon abhängig, in welcher Richtung das medizinisch-optische Instrument 802 am Drehgelenk 800 verstellt wird.

[0058] Die Fig. 9 zeigt in einem Graphen 903 eine erste Motorstromkurve 901 einen Motorstrom für den Elektromotor 805 aus Figur 8 in Abhängigkeit der Winkelstellung # des Drehgelenks 800 aus Figur 8, um das medizinisch-optische Instrument 802 in Richtung des Pfeils 807 zu bewegen. Eine Motorstromkurve 902 entspricht dem Motorstrom des Elektromotors 805 aus Fig. 8, der erforderlich ist, um das medizinisch-optische Instrument in Richtung des Pfeils 803 aus Fig. 8 zu bewegen.

[0059] Die Motorstromkurven 901 und 902 erweisen sich messungsbedingt als verrauscht und sind parallel zur Abszisse des Graphen 903 verschoben. Durch Bilden eines Mittelwertes der Motorstromkurve 901 und 902 mittels geeigneter mathematischer Mittelungsalgorithmen ergibt sich eine unverrauschte Motorstromkurve 904. Diese Motorstromkurve 904 entspricht einem mittels des Elektromotors 805 aus Fig. 8 erzeugbaren Drehmoments beim Drehgelenk 800, das für eine gegebene Drehgelenkstellung an einen exakten statischen Drehmomentenausgleich ermöglicht. Diese Motorstromkurve ist nämlich weder durch Reibungs- noch durch Beschleunigungskräfte verfälscht, da der Beitrag dieser Kräfte durch Bilden des entsprechenden Mittelwertes eliminiert wurde.

[0060] Um eine geeignete Motorstromkurve für Drehmomentenausgleich zu berechnen, ist es dabei nicht erforderlich, das medizinisch-optische Instrument 802 am Drehgelenk 890 aus Fig. 8 im Winkelbereich $0 \leq \theta \leq 2\pi$ um die Achse des Drehgelenks 801 zu bewegen.

[0061] Da bekannt ist, dass das statische Last-Drehmoment bei dem Drehgelenk der anhand von Fig. 6 erläuterten Beziehung genügt, ist es nämlich mittels geeigneter mathematischer Algorithmen möglich, aus dem erfassten Verlauf der Motorstromkurven in einem Winkelbereich 905 oder 906 in Fig. 9 auf eine Motorstromkurve im Winkelbereich $0 < \theta < 2\pi$ zu schließen.

[0062] Die Fig. 10 zeigt eine an einer Haltevorrichtung 1000 aufgenommene Operationsmikroskop 1001. Das Operationsmikroskop 1001 ist an der Haltevorrichtung 1000 und eine Achse 1002 drehbar gelagert und kann dort in den mit dem Pfeil 1003 angedeuteten Winkelbereich verstellt werden. Zum Ausgleich von Last-Drehmomenten in beliebigen Winkelstellungen des Operationsmikroskops 1001 ist ein Elektromotor 1004 vorgesehen, der mittels eines Getriebes auf das Operationsmikroskop 1001 wirkt.

[0063] Zur Aufnahme einer geeigneten Motorstromkurve für Drehmomentenausgleich ist es hier ausreichend, das Operationsmikroskop 1001 beispielsweise im Bereich einer der mit den Pfeilen 1005, 1006 oder 1007 angedeuteten Winkelbereiche zu bewegen. Damit kann, selbst wenn eine Bewegung des Operationsmikroskops 1001 um die Achse 1002 aufgrund von angeschlossenen Zusatzgeräten eingeschränkt ist, eine über den gesamten zugänglichen Winkelbereich passende Motorstromkurve für Drehmomentenausgleich bestimmt werden.

[0064] Die Fig. 11 zeigt schematisch eine Schaltungsanordnung zur Steuerung mehrerer Elektromotoren in einer Schaltungsanordnung mit mehreren Drehgelenken. Die Schaltungsanordnung 1101 hat eine Motorsteuereinheit 1102, die mit Elektromotoren $1103_1, 1103_2, \dots, 1103_n$ verbunden sind. Diese Elektromotoren $1103_1, 1103_2, \dots, 1103_n$ sind Drehgelenken $1104_1, 1104_2, \dots, 1104_n$ zugeordnet. Jedes Drehgelenk mit Elektromotor umfasst einen Stellungsgeber oder Encoder, mit dem die momentane Winkelstellung des Drehgelenks bestimmt werden kann. Eine mehrdimensionale Stromsteuerkurve, die als Grundlage zur Einstellung eines Gleichgewichtszustandes bei einer Haltevorrichtung mit entsprechend vielen Drehgelenken herangezogen werden kann, lässt sich bestimmen, indem zunächst die Winkelstellung aller Drehgelenke $1104_1, 1104_2, \dots, 1104_n$ ermittelt wird. Bei bekannter Stellung der Drehgelenke $1104_2, \dots, 1104_n$ wird dann eine Stromsteuerkurve wie anhand von Fig. 7 beschrieben für den Elektromotor 1103_1 des Drehgelenks 1102_1 aufgenommen und als n-dimensionaler Datensatz in einem elektronischen Speicher 1105 abgelegt. Anschliessend wird eine entsprechende Stromkurve für das Drehgelenk 1103_2 bei bekannter Stellung der übrigen Drehgelenke aufgenommen, und so weiter.

[0065] Nach dem Ermitteln eines Stromkurvensatzes kann durch Umrechnen mit entsprechenden trigonometrischen Funktionen für alle Drehgelenke $1103_1, 1103_2, \dots, 1103_n$ bei bekannter Winkelstellung aller Drehgelenke ein Stromdatensatz berechnet werden, der für jeden Elektromotor $1103_1, 1103_2, \dots, 1103_n$ einen Strom für Gleichgewicht angibt.

[0066] Die Fig. 12 zeigt eine als Manipulator 1200 ausgebildete Haltevorrichtung mit mehreren Drehgelenken. Die Haltevorrichtung umfasst einen Lenker 1201, der an einer Ständereinheit 1202 angeordnet ist und dort mit Drehachsen 1203 und 1204, denen Elektromotoren 1205 und 1206 zugeordnet sind, bewegt werden kann. Der Lenker 1201 ist über ein Drehgelenk 1207 mit dem Lenker 1208 verbunden. Über ein Drehgelenk 1209 hält dieser Lenker 1208 wiederum einen Lenker 1210. An diesem Lenker 1210 befindet sich an einem Drehgelenk 1211 eine Instrumentenaufnahmeeinheit 1212 mit einer Einheit zur Aufnahme eines Werkzeugs in Form eines Instrumentenhalters 1213. Der Instrumentenhalter 1213 hält als medizinisches Instrument ein Operationswerkzeug 1220.

[0067] An der Instrumentenaufnahmeeinheit 1212 ist ein Handgriff 1214 vorgesehen, mit dem eine nicht dargestellte Bedienperson den Manipulator 1200 steuern kann. An den Drehgelenken 1207, 1209 und 1211 sind jeweils Elektromotoren 1215, 1216 und 1217 angeordnet. Die Ständereinheit 1202 selbst befindet sich auf einer Ständerkonsole 1218 und kann dort um eine vertikale Achse 1219 gedreht werden. Mit dem Handgriff 1214 ist es einer Bedienperson möglich, das am

Instrumentenhalter 1213 aufgenommene Instrument 1220 entsprechend der mit Pfeilen 1221, 1222, 1223 und 1224 angedeuteten Richtungen zu bewegen.

[0068] An den Drehgelenken des Manipulators 1200 sind Winkelgeber 1225, 1226, 1227 und 1228 vorgesehen, mittels derer die momentane Stellung der Drehgelenke erfasst wird. Die Signale der Winkelgeber 1225, 1226, 1227 und 1228 werden einer Steuervorrichtung 1229 zugeführt, welche die Elektromotoren 1215, 1216 und 1217 entsprechend der anhand von Fig. 11 erläuterten Weise für Drehmomentausgleich steuert. Dies gestattet einer Bedienperson, über den Handgriff 1214 den Manipulator 1200 entsprechend der mit den Pfeilen 1221, 1222, 1223 und 1224 angedeuteten Richtungen kräftefrei zu führen.

[0069] Die Fig. 13 zeigt schematisch eine im Vergleich zu Fig. 7 bzw. Fig. 11 modifizierte Schaltungsanordnung 1301 zur Steuerung eines Elektromotors 1303 in einem Drehgelenk der als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung aus Fig. 12.

[0070] Die Schaltungsanordnung 1301 umfasst eine Motorsteuereinheit 1302, die mit dem Elektromotor 1303 verbunden ist. Die Schaltungsanordnung 1301 enthält weiter einen Stellungsgeber 1304, welcher der Motorsteuereinheit 1302 eine Information über die momentane Stellung des Drehgelenks mit dem Elektromotor 1303 zuführt. Entsprechend der Schaltungsanordnung 701 auf Fig. 7 weist die Schaltungsanordnung 1301 einen elektronischen Speicher 1305 auf, in dem eine Stromsteuerkurve abgelegt ist. Die Stromsteuerkurve trägt die Information eines für Drehmomentausgleich erforderlichen Stromes für den Elektromotor an dem betreffenden Drehgelenk als Funktion der Drehgelenkstellung. Diese Stromsteuerkurve kann beispielsweise als mathematische Funktion oder als Wertetabelle abgespeichert sein. Dabei kann vorgesehen sein, ggf. Zwischenwerte mittels einer geeigneten mathematischen Funktion zu interpolieren. Für eine momentane Drehgelenkstellung generiert die Motorsteuereinheit 1302 ein Motorsteuersignal M_E für Drehmomentausgleich in dem Drehgelenk mit Elektromotor 1303.

[0071] Im Unterschied zur Schaltungsanordnung 701 aus Fig. 7 ist bei der Schaltungsanordnung 1301 zusätzlich eine Einheit zum Erfassen der zeitlichen Änderung der Drehgelenkstellung 1306 vorgesehen. Die Einheit zum Erfassen der zeitlichen Änderung der Drehgelenkstellung 1306 ist mit dem Stellungsgeber 1304 verbunden. Sie ermittelt durch zeitliches Ableiten der vom Stellungsgeber 1304 zugeführten Information über die Drehgelenkstellung die zeitliche Änderung der Drehgelenkstellung. Alternativ ist es beispielsweise aber auch möglich, die zeitliche Änderung der Drehgelenkstellung durch Auswerten des Motorstromes im Elektromotor 1303 des entsprechenden Drehgelenks zu erfassen.

[0072] Die Information der zeitlichen Änderung der Drehgelenkstellung 1306 wird ebenfalls der Motorsteuereinheit 1302 zugeführt. Dort speist die erfasste zeitliche Änderung der Drehgelenkstellung als Regelgrösse einen Regelkreis 1307, der als Stellgrösse ein Motorsteuersignal M_R ausgibt. Der Regelkreis 1307 ist als PID-Regelkreis ausgebildet, dem als Sollwert der Wert $\dot{\phi}_{\text{set}} = 0$ als Wert für eine gewünschte zeitliche Änderung der Drehgelenkstellung vorgegeben ist. Es sei jedoch bemerkt, dass der Regelkreis auch nach einem anderen in der Fachwelt geläufigen Regelprinzip aufgebaut sein kann.

[0073] Aufgrund des gewählten Sollwertes $\dot{\phi}_{\text{set}} = 0$ entspricht das Motorsteuersignal M_R einem Motorstrom im Elektromotor 1303, der einem Verstellen des Drehgelenks entgegenwirkt.

[0074] In der Motorsteuereinheit 1302 wird das vom Regelkreis 1307 ausgegebene Motorsteuersignal M_R dem Motorsteuersignal M_E für Drehmomentausgleich in dem Drehgelenk mit Elektromotor 1303 bei gegebener Winkelstellung überlagert.

[0075] Eine Bedienperson, die das entsprechende Drehgelenk etwa mit einem in der Fig. 12 gezeigten Handgriff 1214 verstellt, nimmt dieses Entgegenwirken des Elektromotors als einen von einer Verstellgeschwindigkeit abhängigen Verstellwiderstand entsprechend einer Trägheitskraft wahr.

[0076] Die Abhängigkeit des Verstellwiderstands von der Verstellgeschwindigkeit kann etwa durch Auswahl der Zeitkonstante bei dem PID-Regelkreis auf einen gewünschten Wert eingestellt werden.

[0077] Bei Verwendung entsprechender Regelkreise ist es grundsätzlich auch möglich, einer gegebenen Verstellgeschwindigkeit einen gewünschten Verstellwiderstand zuzuordnen.

[0078] Die Schaltungsanordnung 1301 ermöglicht so beispielsweise, mit dem Handgriff 1214 aus Fig. 12 ein an einer Haltevorrichtung aufgenommenes Instrument im Gleichgewicht um ein Drehgelenk zu bewegen, ohne dass hierbei von einer Bedienperson Drehmomente erzeugt werden müssen, die den Drehmomenten, die aufgrund einer Verlagerung des Massenschwerpunkts des aufgenommenen Instruments bei dem betreffenden Drehgelenk anfallen, entgegenwirken. Gleichzeitig nimmt beim Bewegen des Handgriffs die Bedienperson einen haptisch wahrnehmbaren Widerstand wahr, der beispielsweise unterbindet, dass sich Zitterbewegungen einer menschlichen Hand auf das an der Haltevorrichtung aufgenommene Instrument übertragen. Dabei müssen von einer Bedienperson bei dem Manipulator nicht vordefinierbare Kräfte und Momente, wie beispielsweise Schnitt- und Rückstellkräfte beim Schneiden von Gewebe vom Anwender selbst aufgebracht werden. Dies ist jedoch wünschenswert, denn hierdurch hat die betreffende Bedienperson ein reales, haptisch wahrnehmbares Feedback ohne verfälschende Fremdkräfte.

[0079] Die Fig. 14 zeigt schematisch eine weitere Schaltungsanordnung 1401 zur Steuerung von mehreren Elektromotoren 1403₁, 1403₂, ... 1403_n, die in entsprechenden Drehgelenken einer als Manipulator ausgebildeten Haltevorrichtung angeordnet sind, wie sie grundsätzlich schon anhand von Fig. 11 erläutert wurde. Die Schaltungsanordnung 1401 hat eine Motorsteuereinheit 1402, die mit den Elektromotoren 1403₁, 1403₂, ... 1403_n an den entsprechenden Drehgelenken verbunden ist, deren Drehgelenkstellung durch Stellungsgeber 1404₁, 1404₂, ... 1404_n erfasst wird. Entsprechend der

Schaltungsanordnung 1101 aus Fig. 11 umfasst die Schaltungsanordnung 1101 einen elektronischen Speicher, in dem eine mehrdimensionale Stromsteuerkurve abgelegt ist, welche die Information eines Motorstromes für Gleichgewicht M_{E1} , M_{E2} , ... M_{En} für die Elektromotoren 1403₁, 1403₂, 1403_n für eine gegebene Stellung der Drehgelenke enthält.

[0080] Im Unterschied zur Schaltungsanordnung 1101 sind bei der Schaltungsanordnung 1401 als Einheiten zum Erfassen zeitlicher Änderung der Stellung der betreffenden Drehgelenke 1406₁, 1406₂, ... 1406_n vorgesehen, welche die Information einer zeitlichen Änderung der Drehgelenkstellung der Motorsteuereinheit 1402 zuführen.

[0081] In der Motorsteuereinheit 1402 speist diese Information als Regelgrösse Regelkreise 1107₁, 1407₂ ... 1407_n, welche als Stellgrösse ein Motorsteuersignal M_{R1}, M_{R2}, ... M_{Rn} ausgeben. Entsprechend der anhand von Fig. 13 erläuterten Schaltungsanordnung wirkt ein jedes der Motorsteuersignale M_{R1}, M_{R2}, ... M_{Rn} dem Verstellen des Drehgelenks, dem der betreffende Elektromotor 1403₁, 1403₂, ... 1403_n zugeordnet ist, entgegen.

[0082] In der Motorstereinheit 1402 werden die von den Regelkreisen 1407₁, 1407₂, ... 1407_n ausgegebenen Motorsteuersignale M_{R1}, M_{R2}, ... M_{Rn}, den Motorsteuersignalen M_{E1}, M_{E2}, ... M_{En} für Drehmomentausgleich durch die Elektromotoren 1403₁, 1403₂, ... 1403_n überlagert.

[0083] Die Schaltungsanordnung ermöglicht somit mit einem Manipulator als Haltevorrichtung mit mehreren Drehgelenken, die mit entsprechenden Elektromotoren angetrieben werden, über einen geeigneten Handgriff ein Instrument im Gleichgewicht zu führen, das heisst für eine Bedienperson scheinbar kräftefrei zu bewegen, ohne dass sich beispielsweise Zitterbewegungen einer menschlichen Hand auf das Instrument übertragen.

[0084] Eine als Manipulator ausgebildete Haltevorrichtung, die über eine in der Fig. 11 gezeigte Schaltungsanordnung gesteuert wird, erlaubt somit ein präzises, zitterfreies Führen von mikrochirurgischen Instrumenten, insbesondere Injektoren, Endoskopen oder Labraskopen. Grundsätzlich kann ein solcher Manipulator in jeder Bewegungsachse mit einem elektronischen Antrieb versehen sein, der in geeigneter Weise gesteuert bzw. geregelt ist. Mit einem solchen Manipulator können beispielsweise Implantate, Permanentpharmaka, Sensoren, Aktoren oder auch Detektoren und Ähnliches an einem Patienten exakt positioniert werden.

[0085] Ein solcher Manipulator kann auch einen Tastkopf zum Vermessen von Werkstücken oder ein Greifwerkzeug tragen. Es ist grundsätzlich auch möglich, mit einem entsprechenden Manipulator schwere Instrumente, Gegenstände oder Werkzeuge aufzunehmen, welche dann eine Bedienperson feinmotorisch bewegen kann. Beispielsweise können so insbesondere schwere Gegenstände genau positioniert, fixiert oder montiert werden.

[0086] Wird für den Manipulator eine Lenkerkonstruktion gewählt, die einem Gewichtsausgleich um entsprechende Drehgelenke über eine geeignete Masseverteilung Rechnung trägt, so ist es möglich, vergleichsweise schwache Elektromotoren zur Einstellung eines Drehmomentausgleichs in den Bewegungsachsen des Manipulators einzusetzen. Dies kann grundsätzlich auch einen manuellen «Handbetrieb» des Manipulators ohne Unterstützung von Elektromotoren ermöglichen. Insbesondere müssen hier nur die vergleichsweise geringen Momente eines schwachen Elektromotors überwunden werden.

[0087] Für das Arbeiten mit dem Manipulator kann vorgesehen sein, einen mit dem Manipulator aufzunehmenden Gegenstand beispielsweise mittels Barcode oder durch Auslösen eines Mikrochips entsprechend zu identifizieren und entsprechend einer vorbekannten Massenverteilung des aufgenommenen Gegenstands dann geeignete Motorstromsteuerkurven für Drehmomentkompensation in dem Speicher einer dem Manipulator zugeordneten Steuervorrichtung einzustellen.

[0088] Der Vollständigkeit halber sei bemerkt, dass ein entsprechendes Werkstück oder Werkzeug als ein am Manipulator aufgenommener Gegenstand grundsätzlich auch über das Identifikationsprinzip automatischer Zufuhreinrichtungen bei Werkzeugmaschinen in Form von Magazinen oder Wechslern identifiziert werden kann.

[0089] Im Vergleich zur klassischen Robotertechnik, in der aufwändige Sensor-Aktuator-Regelungen für Servobetrieb von mittels Motoren angetriebenen Roboterarmen eingesetzt werden müssen, hat die beschriebene Haltevorrichtung den Vorteil, dass es keiner kostspieligen Kraft-Momentsensoren bedarf.

Patentansprüche

1. Haltevorrichtung (101, 1200) für ein Instrument (1213), insbesondere für ein medizinisch-optisches Instrument (103)
 - mit wenigstens einem Drehgelenk (111, 119, 1204, 1207, 1209, 1211) und
 - mit Mitteln zum Ausgleich eines Last-Drehmoments, welches das Instrument (103, 913) an dem Drehgelenk (111, 119, 1204, 1207, 1209, 1211) hervorruft, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Mittel zum Ausgleich des Last-Drehmoments einen ersten Elektromotor (305, 405, 1205, 1206, 1215, 1216, 1217) umfassen,
 - der mit Mitteln (307, 410, 1304, 1404₁, 1404₂, ... 1404_n) zum Erfassen der Stellung des Drehgelenks kombiniert ist, und
 - eine Steuereinheit (702, 1101, 1301, 1401) vorgesehen ist, die zum Ausgleich des Last-Drehmoments einem erfassten Drehgelenkstellungswert einen Wert für einen Motorstrom zuordnet, der auf den Elektromotor (305, 405, 1205, 1206, 1215, 1216, 1217) ausgegeben wird und bewirkt, dass der Elektromotor (305, 405, 1205, 1206, 1215, 1216,

- 1217) ein Gegenmoment erzeugt, welches das an dem Drehgelenk (111, 119, 1204, 1207, 1209, 1211) anliegende Last-Drehmoment ausgleicht.
2. Haltevorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem Drehgelenk (111, 119) eine Bremse (308, 409) zugeordnet ist.
 3. Haltevorrichtung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor (405) mittels eines Getriebes (406) mit dem Drehgelenk (119) gekoppelt ist.
 4. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor (405) eine Antriebsachse aufweist, die zu einer Drehachse des Drehgelenks versetzt verläuft.
 5. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zum Erfassen der Stellung des Drehgelenks (111, 119) einen Encoder (307) des Elektromotors oder einen Stellungsgeber (410) aufweisen.
 6. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Steuereinheit (702) ein elektronischer Speicher (705) zugeordnet ist, in dem eine Strom-Drehgelenkstellungskurve oder eine Strom-Drehgelenktabelle abgelegt ist.
 7. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (1306, 1406₁, 1406₂, ... 1406_n) zum Erfassen einer zeitlichen Änderung der Stellung des Drehgelenks vorgesehen sind.
 8. Haltevorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1301, 1401) einen Regelkreis (1307, 1407₁, 1407₂, ... 1407_n) enthält, dem eine erfasste zeitliche Änderung der Stellung des Drehgelenks zugeführt wird und der einen Motorstrom für den Elektromotor (1303, 1403₁, 1403₂, ... 1403_n) am Drehgelenk ausgibt, welcher der Änderung der Stellung des Drehgelenks entgegenwirkt.
 9. Haltevorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1301, 1401) den vom Regelkreis (1307, 1407₁, 1407₂, ... 1407_n) ausgegebenen Motorstrom dem Motorstrom zum Ausgleich des an dem Drehgelenk anliegenden Last-Drehmoments überlagert.
 10. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei Drehgelenke (111, 119, 1204, 1207, 1209, 1211) mit Mitteln zum Ausgleich eines Last-Drehmoments vorgesehen sind.
 11. Haltevorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1401) wenigstens zwei Regelkreise (1407₁, 1407₂, 1407_n) enthält, denen eine erfasste zeitliche Änderung der Stellung eines Drehgelenks zugeführt wird und die wenigstens zwei Motorströme für wenigstens zwei Elektromotoren (1403₁, 1403₂, ... 1403_n) ausgeben, welche der Änderung der Stellung der Drehgelenke entgegenwirken.
 12. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Instrument (103) mit einem Parallelogrammnenker (102) an einem Tragarm (104) aufgenommen ist.
 13. Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltevorrichtung als Manipulator (1200) zum Bewegen eines Instruments (1220) ausgebildet ist.
 14. Haltevorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass zum Bewegen des Manipulators (1200) ein Handgriff (1214) vorgesehen ist.
 15. Verfahren zum Ermitteln einer Stromsteuerkurve für das Einstellen eines Gleichgewichtszustandes in einer Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
 - bei dem das wenigstens eine Drehgelenk (111, 119) mittels des Elektromotors (305, 405) um eine Achse des Drehgelenks bewegt wird,
 - der zur Bewegung des Drehgelenks erforderliche Strombedarf des Elektromotors (305, 405) ermittelt wird,
 - die momentane Stellung des Drehgelenks (111, 119) bestimmt wird, und
 - der ermittelte Strombedarf in Abhängigkeit der Drehgelenkstellung in einem elektronischen Speicher (705) als Stromsteuerkurve abgelegt wird.
 16. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem das wenigstens eine Drehgelenk (111, 119) mittels des Elektromotors (305, 405) in eine erste Richtung bewegt wird, wobei der zur Bewegung des Drehgelenks (111, 119) erforderliche Strombedarf des Elektromotors (305, 405) in Abhängigkeit der Stellung des Drehgelenks (111, 119) ermittelt wird, und darauf das wenigstens eine Drehgelenk (111, 119) mittels des Elektromotors (305, 405) in eine der ersten Richtung entgegengesetzte zweite Richtung bewegt wird, wobei der zur Bewegung des Drehgelenks (111, 119) erforderliche Strombedarf des Elektromotors (305, 405) in Abhängigkeit der Stellung des Drehgelenks (111, 119) ermittelt wird.
 17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem ein Mittelwert des für das Bewegen des wenigstens einen Drehgelenks (111, 119) in der ersten Richtung erforderlichen Strombedarfs und des für das Bewegen des wenigstens einen Drehgelenks (111, 119) in der zweiten Richtung erforderlichen Strombedarfs berechnet wird und in Abhängigkeit der Drehgelenkstellung in einem elektronischen Speicher (705) als Stromsteuerkurve abgelegt wird.
 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, bei dem zum Ermitteln einer Stromsteuerkurve das wenigstens eine Drehgelenk (111, 119) mittels des Elektromotors (305, 405) um einen Drehwinkel

$$|\varphi| \leq \pi \quad \text{oder} \quad |\varphi| \leq \frac{\pi}{2} \quad \text{oder} \quad |\varphi| \leq \frac{\pi}{4}$$

bewegt wird.

19. Verfahren zum Einstellen eines Gleichgewichtszustandes in einer Haltevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem
 - eine momentane Stellung des Drehgelenks (111, 119) bestimmt wird und
 - der Elektromotor (305, 405) entsprechend einer in einem Speicher (705) abgelegten Stromsteuerkurve bestromt wird, die der bestimmten momentanen Stellung des Drehgelenks (111, 119) einen Stromwert für Drehmomentkompensation zuordnet.
20. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem eine momentane Änderung der Stellung des Drehgelenks (111, 119) bestimmt wird und ein der Änderung der Stellung des Drehgelenks (111, 119) entgegenwirkender Strom auf den Elektromotor (305, 306) ausgegeben wird.
21. Verfahren nach Anspruch 15,
 - bei dem die Stellung des einen, ersten Drehgelenks (111) erfasst wird,
 - bei einer bekannten Stellung des ersten Drehgelenks (111) ein zweites Drehgelenk (119) mittels eines dem zweiten Drehgelenk (119) zugeordneten zweiten Elektromotors (405) um seine Achse bewegt wird,
 - der zur Bewegung des zweiten Drehgelenks (119) erforderliche Strombedarf des zweiten Elektromotors (405) ermittelt wird,
 - die momentane Stellung des zweiten Drehgelenks (119) bestimmt wird,
 - der ermittelte Strombedarf des zweiten Elektromotors (405) in Abhängigkeit der Stellung des zweiten Drehgelenks (119) in einem elektronischen Speicher (705) als zweite Stromsteuerkurve abgelegt wird, und
 - bei dem anschliessend bei einer bekannten Stellung des zweiten Drehgelenks (119) das erste Drehgelenk (111) mittels des zugeordneten ersten Elektromotors (305) um seine Achse bewegt wird,
 - der zur Bewegung erforderliche Strombedarf des ersten Elektromotors (305) ermittelt wird,
 - die momentane Stellung des ersten Drehgelenks (111) bestimmt wird, und
 - der ermittelte Strombedarf des ersten Elektromotors (305) in Abhängigkeit der Stellung des ersten Drehgelenks (111) in einem elektronischen Speicher (705) als erste Stromsteuerkurve abgelegt wird.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die Stellung wenigstens eines weiteren Drehgelenks (1104_n) erfasst wird,
 - bei einer bekannten Stellung von erstem Drehgelenk (1104₁) und zweitem Drehgelenk (1104₂) das weitere Drehgelenk (1104_n) mittels eines dem weiteren Drehgelenk (1104_n) zugeordneten weiteren Elektromotors (1103_n) um seine Achse bewegt wird,
 - der zur Bewegung des weiteren Drehgelenks (1104_n) erforderliche Strombedarf des weiteren Elektromotors (1103_n) ermittelt wird,
 - die momentane Stellung des weiteren Drehgelenks (1104_n) bestimmt wird, und
 - der ermittelte Strombedarf des weiteren Elektromotors (1103_n) in Abhängigkeit der Stellung des ersten Drehgelenks (1104₁) und des zweiten Drehgelenks (1104₂) in einem elektronischen Speicher (1105) als Stromsteuerkurve abgelegt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem
 - eine momentane Stellung des einen, ersten Drehgelenks (111) bestimmt wird,
 - eine momentane Stellung des anderen, zweiten Drehgelenks (119) bestimmt wird, und
 - ein dem ersten Drehgelenk (111) zugeordneter erster Elektromotor (305) und ein dem zweiten Drehgelenk (119) zugeordneter zweiter Elektromotor (405) entsprechend einer in einem Speicher (705) abgelegten Stromsteuerkurve bestromt wird,
 - wobei die Stromsteuerkurve entsprechend der bestimmten momentanen Stellung der Drehgelenke (111, 119) den Elektromotoren (305, 405) der Drehgelenke (111, 119) jeweils einen Stromwert für Drehmomentkompensation zuordnet.
24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass
 - eine momentane Stellung wenigstens eines weiteren Drehgelenks (1104_n) bestimmt wird, und
 - ein dem weiteren Drehgelenk (1104_n) zugeordneter Elektromotor (1103_n) entsprechend einer in einem Speicher (1105) abgelegten Stromsteuerkurve bestromt wird,
 - wobei die Stromsteuerkurve entsprechend der bestimmten momentanen Stellung der Drehgelenke (1104₁, 1104₂, ..., 1104_n) den Elektromotoren (1103_a, 1103₂, ..., 1103_n) der Drehgelenke (1104₁, 1104₂, ..., 1104_n) jeweils einen Stromwert für Drehmomentkompensation zuordnet.

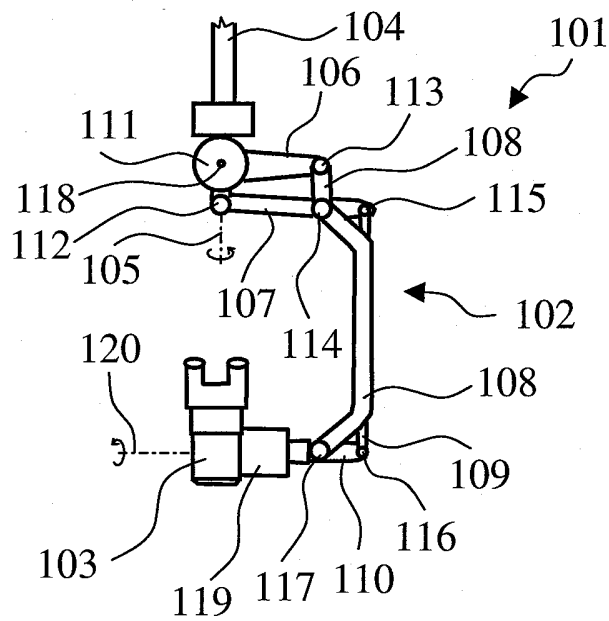


FIG.1

FIG.2

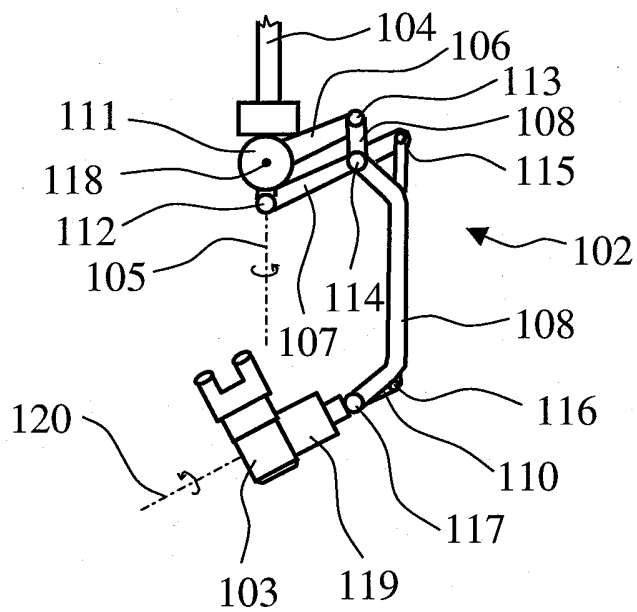


FIG.3

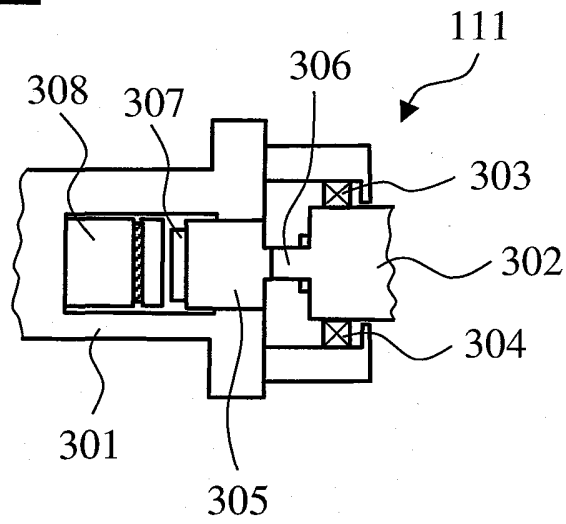
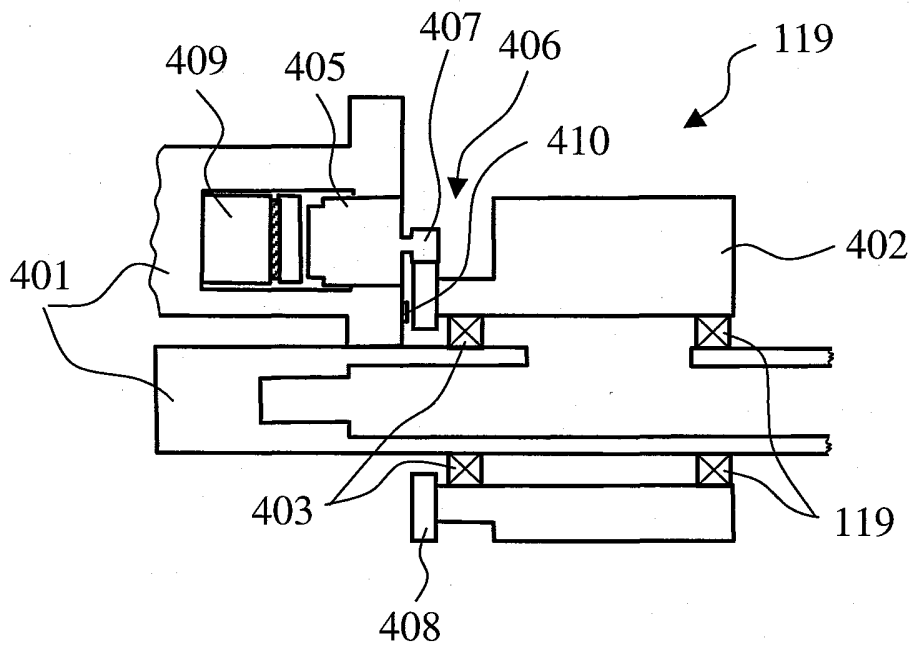


FIG.4



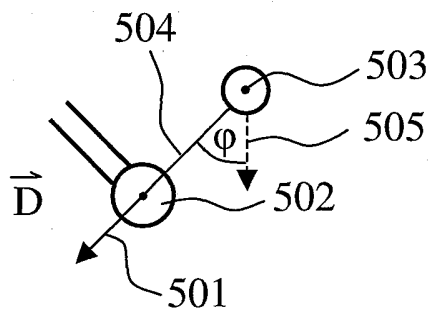
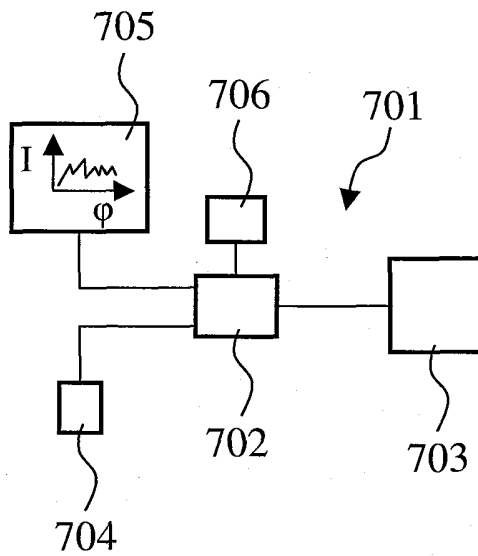
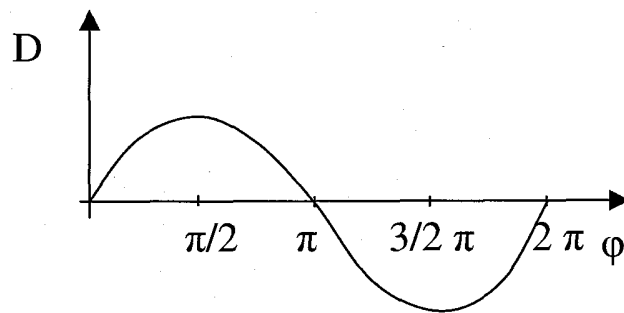
**FIG. 5****FIG. 6****FIG. 7**

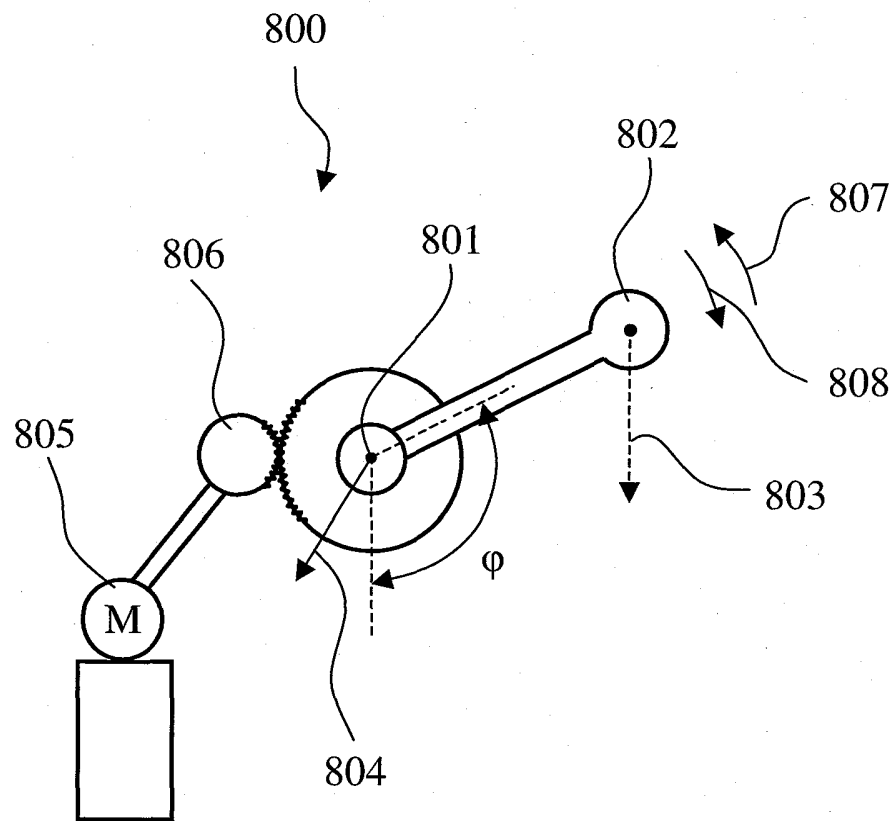
FIG.8

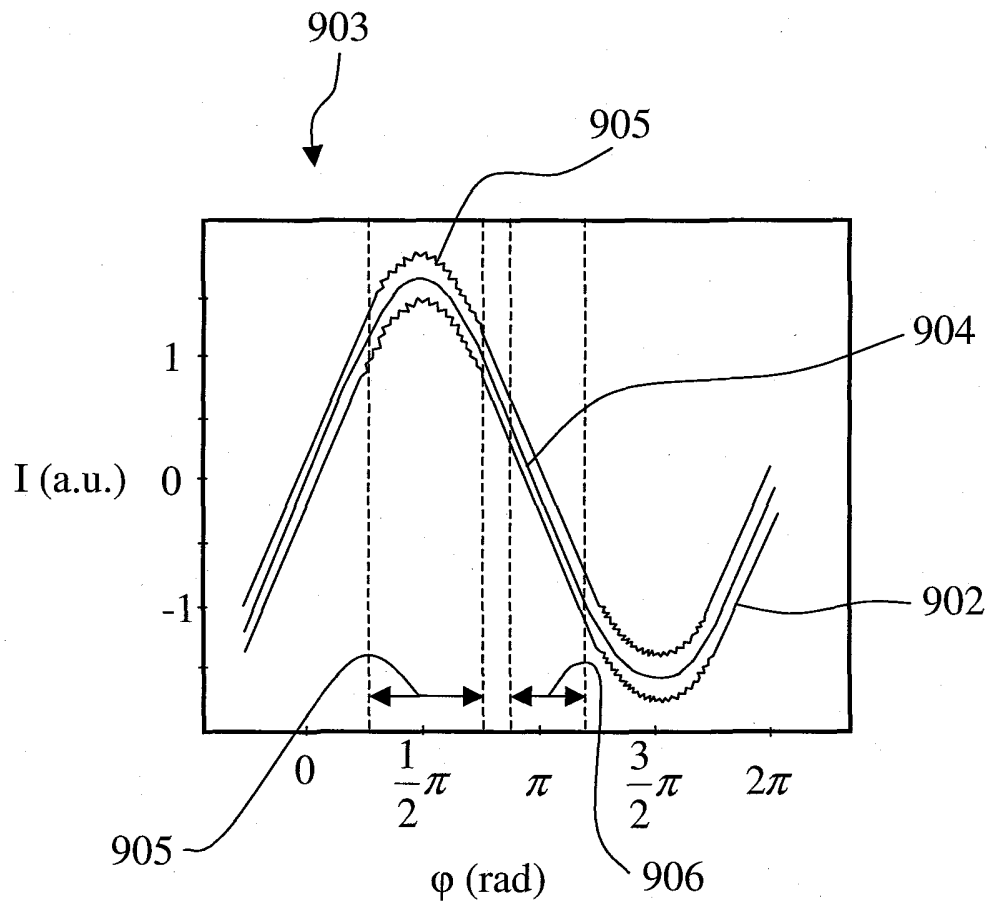
FIG.9

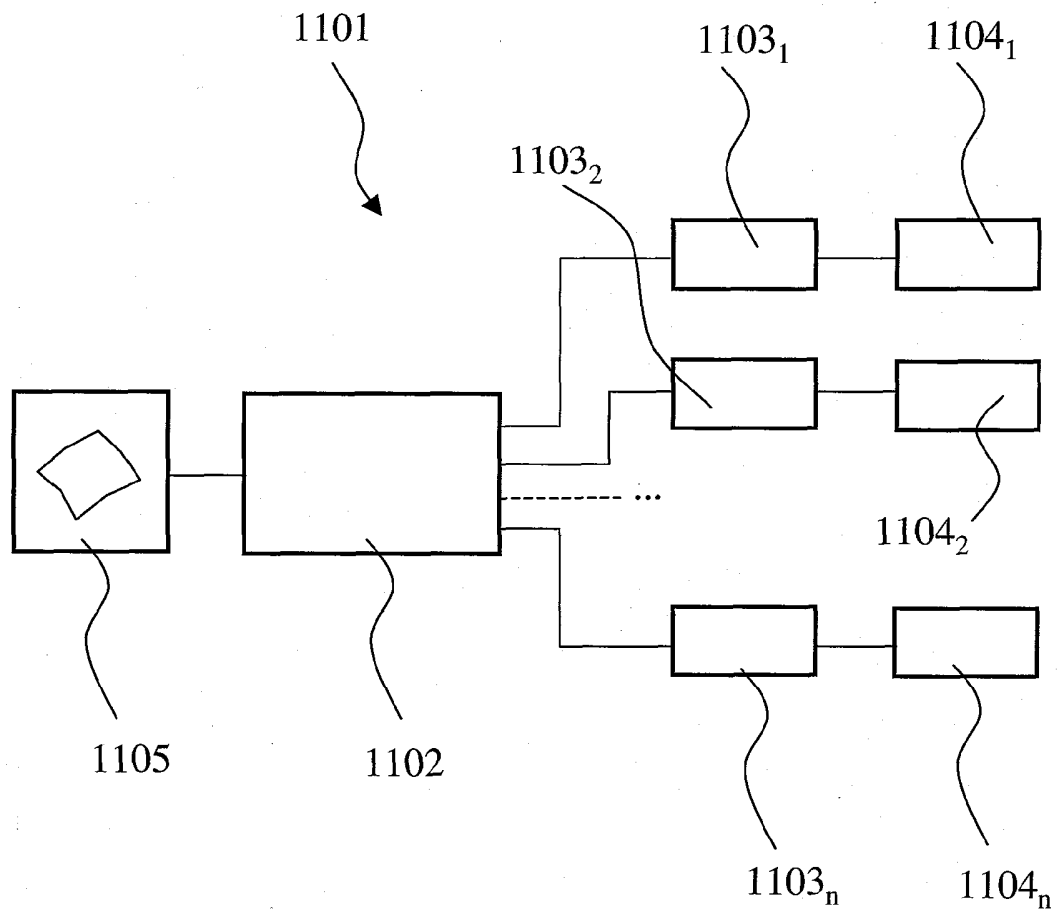
FIG.11

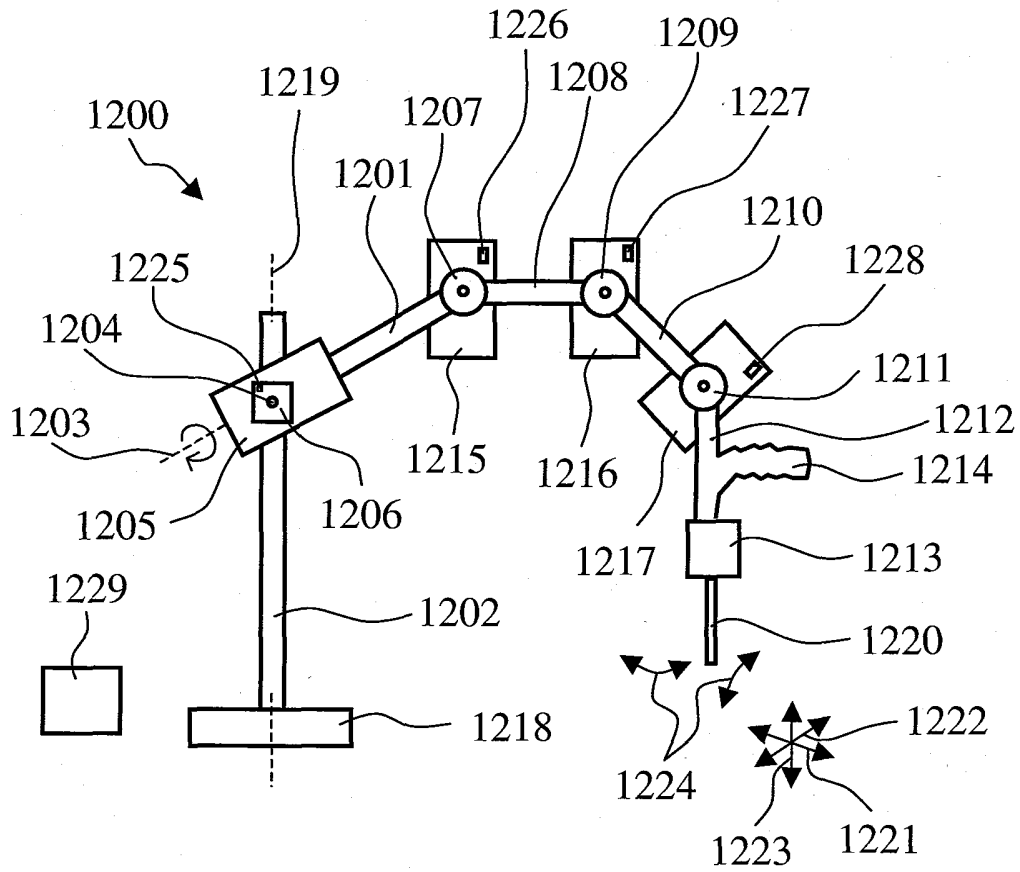
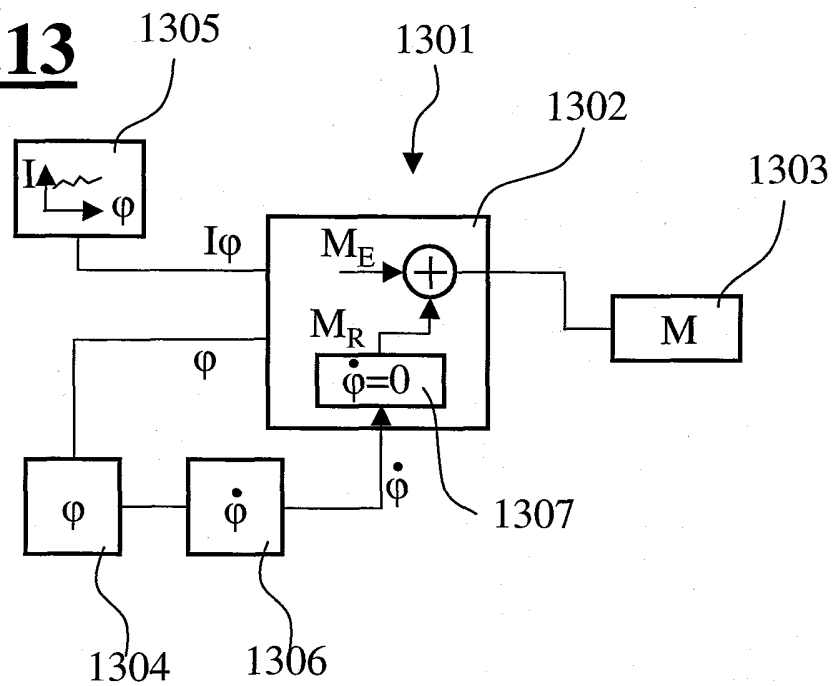
FIG.12**FIG.13**

FIG.14