



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 000 524.3**

(22) Anmeldetag: **17.01.2015**

(43) Offenlegungstag: **21.07.2016**

(51) Int Cl.: **B60G 13/16** (2006.01)  
**G01C 19/00** (2006.01)  
**B60G 13/02** (2006.01)  
**B60G 13/14** (2006.01)  
**F16F 15/12** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**AUDI AG, 85045 Ingolstadt, DE; Karlsruher  
Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**DE 10 2013 015 702 B3**

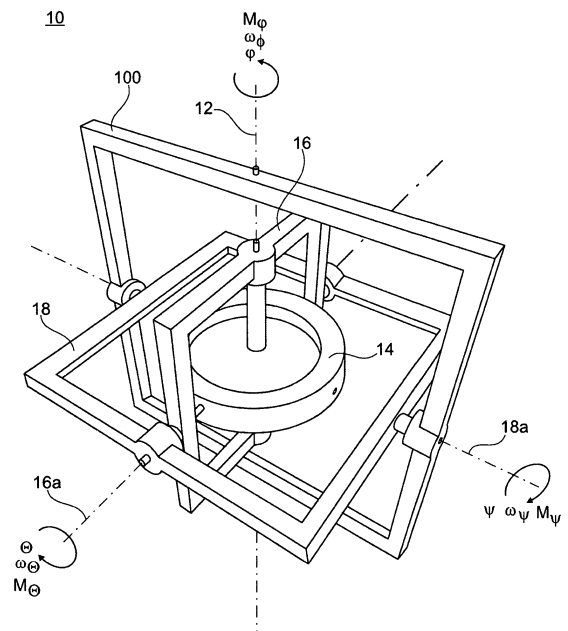
(72) Erfinder:  
**Koch, Tilo, Dr., 85055 Ingolstadt, DE; Gauterin,  
Frank, Prof. Dr., 76829 Leinsweiler, DE; Frey,  
Michael, Dr., 76275 Ettlingen, DE; Scheurich,  
Bastian, 74206 Bad Wimpfen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers (10) für ein Kraftfahrzeug, wobei der Rotationsdämpfer (10) eine über einen Antrieb angetriebene, um eine Drehachse (12) mit einer Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_\phi$ ) rotierende Schwungmasse (14) umfasst, die über ein erstes Lagerelement (16) und zweites Lagerelement (18) kardanisch gelagert ist, wobei die Schwungmasse (14) um den Drehwinkel ( $\phi$ ) drehbar am ersten Lagerelement (16) gelagert ist und das erste Lagerelement (16) um eine orthogonal zur Drehachse (12) der Schwungmasse (14) ausgerichteten ersten Achse (16a) um einen ersten Drehwinkel ( $\theta$ ) drehbar am zweiten Lagermittel (18) gelagert ist und das zweite Lagermittel (18) um eine orthogonal zur ersten Achse (16a) ausgerichteten zweiten Achse (18a) um einen zweiten Drehwinkel ( $\psi$ ) drehbar gelagert ist, wobei das erste Lagerelement (16) mit einem Wellenantrieb in Wirkverbindung steht und das zweite Lagerelement (18) mit einem Radträger verbindbar ist, so dass eine Ein-/Ausfederbewegung des Radträgers eine Drehung des zweiten Lagerelements (18) um den zweiten Drehwinkel ( $\psi$ ) bewirkt, wobei als Regelgröße ein am zweiten Lagerelement (18) wirkendes Drehmoment ( $M_\psi$ ) und als Stellgröße ein über den Wellenmotor stellbares Drehmoment ( $M_\theta$ ) verwendet wird, wobei die Regelung der Stellgröße ( $M_\theta$ ) in Abhängigkeit vom Drehwinkel ( $\theta$ ) und Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_\theta$ ) des ersten Lagerelements (16) um die erste Achse (16a) durchgeführt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers für ein Kraftfahrzeug gemäß der im Patentanspruch 1 angegebenen Art.

**[0002]** Nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitende Rotationsdämpfer stellen einen neuen Ansatz zur Dämpfung der Aufbauschwingung eines Kraftfahrzeugs dar. Der Rotationsdämpfer ist dabei konstruktiv so ausgeführt, dass die Drehachse einer kardanisch gelagerten, rotierenden Schwungmasse bei einer z. B. durch Bodenunebenheiten hervorgerufenen vertikalen Bewegung des Radträgers ausgelenkt wird. Die dabei entstehenden Präzessionsmomente sollen/können nun derart gedämpft werden, dass am Radträger ein Dämpfungseffekt entsteht. Das gyroskopische Prinzip dient dabei als Getriebe. Je nach Präzessionsmomente kann der Dämpfer mit sehr hoher Spreizung zwischen minimaler und maximaler Kennlinie arbeiten.

**[0003]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers für ein Kraftfahrzeug anzugeben.

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst.

**[0005]** Die Unteransprüche bilden vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0006]** Der zu regelnde, nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitende Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug umfasst eine über einen Antrieb angetriebene, um eine Drehachse mit einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\varphi$  rotierende Schwungmasse, die über ein erstes Lagerelement und ein zweites Lagerelement kardanisch gelagert ist. Hierbei ist die Schwungmasse um einen Drehwinkel  $\varphi$  drehbar am ersten Lagerelement gelagert und das erste Lagerelement um eine orthogonal zur Drehachse der Schwungmasse ausgerichteten ersten Achse um einen ersten Drehwinkel  $\Theta$  drehbar am zweiten Lagermittel gelagert. Das zweite Lagermittel ist um eine orthogonal zur ersten Achse ausgerichtete zweite Achse um einen zweiten Drehwinkel  $\Psi$  drehbar am Kraftfahrzeugaufbau gelagert. Weiterhin steht das erste Lagerelement mit einem Wellenantrieb in Wirkverbindung und das zweite Lagerelement ist über Mittel derart mit einem Radträger verbindbar, so dass eine Ein-/Ausfederbewegung des Radträgers eine Drehung des zweiten Lagerelements relativ zum Kraftfahrzeugaufbau um den zweiten Drehwinkel  $\Psi$  bewirkt. Zudem umfasst der Rotationsdämpfer eine Reglereinrichtung zur Regelung des mit dem ersten Lagerelement in Wirkverbindung stehenden Wellenantriebs.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird als Regelgröße ein am zweiten Lagerelement wirkendes Drehmoment  $M_\psi$  und als Stellgröße ein über den Wellenmotor stellbares Drehmoment  $M_\theta$  verwendet wird, wobei die Regelung der Stellgröße  $M_\theta$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\theta$  und Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  des ersten Lagerelements um die erste Achse durchgeführt wird.

**[0008]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung erweist sich als vorteilhaft, aufgrund der Regelung der Stellgröße  $M_\theta$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\theta$  und Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  eine schnelle Reaktion auf eingebrachte Störungen realisiert ist.

**[0009]** Vorzugsweise weist der bei der Regelung verwendete Regler eine PD-Charakteristik nach der Gleichung  $M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta$ , wobei  $c$  und  $k$  vom Betrag her negativ sind.

**[0010]** Die Konstanten  $c$  und  $k$  werden dabei für eine weiche Dämpferkennlinie als auch eine harte Kennlinie ermittelt. Sowohl  $|c| > |k|$  als auch  $|c| < |k|$  sind denkbar; als pragmatisch erweist sich jedoch  $|c| < |k|$ .

**[0011]** Ein stochastisches Wechseln zwischen harter und weicher Kennlinie bei unterschiedlichen Bewegungszuständen des Dämpfers ist möglich. Damit ist eine Erfüllung von Forderungen eines Skyhook-Regelalgorithmus möglich.

**[0012]** Verbessert kann die Regelung werden wenn zusätzlich die Winkel  $\psi$  und/oder die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\psi$  verwendet wird/werden. Die resultierenden Momente ergeben sich dann wie folgt:

$$M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta + a \cdot \omega_\psi,$$

und

$$M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta + a \cdot \omega_\psi + b \cdot \psi,$$

wobei  $a < 0$  und  $b < 0$ .

**[0013]** Eine weitere Verbesserungsoptimierung ist die Berücksichtigung von translatorischen Beschleunigungen in x-, y-, und/oder z-Richtung. Für kleine Winkel  $\theta$  kann die Beschleunigung in x-Richtung vernachlässigt werden. Für große Winkel  $\theta$  ist die Beschleunigung in x-Richtung in der obigen Gleichung zu berücksichtigen. Gleiches gilt für Wanken und Nicken bzw. Beschleunigung in y-Richtung und z-Richtung. Die jeweiligen Positionen von x, y und z spielen hierbei keine Rolle.

**[0014]** Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit dem in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel.

[0015] In der Zeichnung bedeutet:

[0016] Fig. 1 eine schematische Darstellung der Funktionsweise des zu regelnden Rotationsdämpfers.

[0017] Fig. 1 zeigt einen insgesamt mit der Bezugsziffer 10 bezeichneten Rotationsdämpfer für ein Kraftfahrzeug in einer schematischen Darstellung.

[0018] Der Rotationsdämpfer 10 umfasst eine um eine Drehachse 12 mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\varphi$  rotierende Schwungmasse 14, die über ein erstes Lagererelement 16 und ein zweites Lagererelement 18 kardänisch gelagert ist.

[0019] Hierbei ist die Schwungmasse 14 um den Drehwinkel  $\varphi$  drehbar am ersten Lagererelement 16 gelagert und das erste Lagererelement 16 ist um eine orthogonal zur Drehachse 12 der Schwungmasse 14 ausgerichteten ersten Achse 16a um einen Drehwinkel  $\theta$  drehbar am zweiten Lagererelement 18 gelagert und das zweite Lagererelement 18 ist um eine orthogonal zur ersten Achse 16a ausgerichteten zweiten Achse 18a um einen zweiten Drehwinkel  $\psi$  drehbar am Kraftfahrzeugaufbau 100 gelagert.

[0020] Nicht dargestellt in der schematischen Darstellung gemäß Fig. 1 ist ein Antrieb der Schwungmasse 14, ein mit dem ersten Lagererelement über eine Antriebswelle in Wirkverbindung stehender Wellenantrieb sowie die Anbindung des zweiten Lagererelements 18 an einen Radträger. Auch auf eine Darstellung der Regelungseinrichtung wurde verzichtet.

[0021] Der schematisch dargestellte Rotationsdämpfer 10 verwendet den Effekt der Drehträgheit, um an geeigneter Stelle Kräfte in Fahrwerk einzuleiten. Diese Kräfte sollen die Funktion eines herkömmlichen Dämpfererelements ersetzen und erweitern.

[0022] Nachfolgend eine kurze Erläuterung des Funktionsprinzips:

Im Anfangszustand rotiert die Schwungmasse 14 mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\varphi$  um die Drehachse 12. Wenn an der ersten Achse 16a des ersten Lagererelements 16 ein Drehmoment  $M_\theta$  wirksam wird, entsteht aufgrund der Präzession ein Drehmoment  $M_\psi$  um die zweite Achse 18a. Die Momente führen zu einer Winkelgeschwindigkeit des ersten bzw. zweiten Lagererelements 16, 18. Ein Drehmoment  $M_\theta$  führt folglich zu einer Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  des ersten Lagererelements 16. Diese Verdrehung verändert die Richtung des Winkelgeschwindigkeitsvektors  $\omega_\varphi$  der Schwungmasse 14. Auf eine solche Störung reagiert die rotierende Schwungmasse 14 mit dem angesprochenen Präzessionsmoment  $M_\psi$ . Da aber die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\psi$  konstruktionsbedingt ebenfalls den Winkelgeschwindigkeitsvektor  $\omega_\varphi$  der Schwungmasse 14 verändert, besteht ein direkter Einfluss al-

ler drei Achsen. Das Einbringen von Energie in eine Achse zeigt eine Veränderung der Energie der beiden anderen Achsen. Wird das zweite Lagererelement 18 als Eingang betrachtet, so sind  $M_\psi$  und  $\omega_\psi$  gleichgerichtet. An der ersten Achse 16a des ersten Lagererelements 16 kann diese Energie wieder entnommen werden, dabei sind  $M_\theta$  und  $\omega_\theta$  entgegengesetzt orientiert. Der umgekehrte Fall ist ebenso möglich. Gleichgerichtete Beträge von  $M_\theta$  und  $\omega_\theta$  führen zu ungleich gerichteten Beträgen von  $M_\psi$  und  $\omega_\psi$ . Wird nicht die gesamte Energie des Drehmoments  $M_\theta$  entnommen, so wird aufgrund des Rückkopplungseffekts die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  der Schwungmasse 14 steigen. Die überschüssige Energie wird in Form kinetischer Energie in der Drehbewegung der Schwungmasse 14 gespeichert. Das Übersetzungsverhältnis der einzelnen Momente wird dabei durch die Drehträgheiten der Schwungmasse 14 bestimmt.

[0023] Ist nun das zweite Lagererelement 18 derart mit einem Radträger verbunden, so dass eine Ein-/Ausfederbewegung des Radträgers ein Drehmoment  $M_\psi$  und eine Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\psi$  des zweiten Lagererelements 18 um die zweite Achse 18a bewirken, entsteht eine Relativbewegung des ersten Lagererelements 16 um die erste Achse 16a. Wird zur Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  des ersten Lagererelements 16 ein Gegenmoment  $M_\theta$  aufgebracht, so wird die Relativbewegung des Lagererelements 16 um die erste Achse 16a gedämpft. Dies führt wiederum zum Dämpfen der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\psi$  des zweiten Lagererelements 18 um die zweite Achse 18a. Je nach Größe des Betrages des Gegenmoments  $M_\theta$  fällt die Dämpfung stärker oder schwächer aus.

[0024] Wird im Gegensatz dazu ein der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  gleichgerichtetes Moment  $M_\theta$  aufgebracht, führt dies zu einer Unterstützung der Ein-/Ausfederbewegung. D. h. der Rotationsdämpfer 10 kann auch als Aktuator verwendet werden, um aktiv Vertikalkräften am Radträger zu stellen und somit Funktionen eines aktiven Fahrwerks zu übernehmen.

[0025] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden zur Erzielung obiger Effekte als Regelgröße ein am zweiten Lagererelement 18 wirkendes wirkendes Drehmoment  $M_\psi$  und als Stellgröße ein über den Wellenmotor stellbares Drehmoment  $M_\theta$  verwendet wird. Hierbei wird die Regelung der Stellgröße  $M_\theta$  in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\theta$  und Winkelgeschwindigkeit  $\omega_\theta$  des ersten Lagererelements 16 um die erste Achse 16a durchgeführt wird.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers (10) für ein Kraftfahrzeug, wobei der Rotationsdämpfer (10) eine über einen Antrieb angetriebene, um

eine Drehachse (12) mit einer Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_\varphi$ ) rotierende Schwungmasse (14) umfasst, die über ein erstes Lagerelement (16) und zweites Lagerelement (18) kardanisch gelagert ist, wobei die Schwungmasse (14) um den Drehwinkel ( $\varphi$ ) drehbar am ersten Lagerelement (16) gelagert ist und das erste Lagerelement (16) um eine orthogonal zur Drehachse (12) der Schwungmasse (14) ausgerichteten ersten Achse (16a) um einen ersten Drehwinkel ( $\theta$ ) drehbar am zweiten Lagermittel (18) gelagert ist und das zweite Lagermittel (18) um eine orthogonal zur ersten Achse (16a) ausgerichteten zweiten Achse (18a) um einen zweiten Drehwinkel ( $\psi$ ) drehbar gelagert ist, wobei das erste Lagerelement (16) mit einem Wellenantrieb in Wirkverbindung steht und das zweite Lagerelement (18) mit einem Radträger verbindbar ist, so dass eine Ein-/Ausfederbewegung des Radträgers eine Drehung des zweiten Lagerelements (18) um den zweiten Drehwinkel ( $\psi$ ) bewirkt, wobei als Regelgröße ein am zweiten Lagerelement (18) wirkendes Drehmoment ( $M_\psi$ ) und als Stellgröße ein über den Wellenmotor stellbares Drehmoment ( $M_\theta$ ) verwendet wird, wobei die Regelung der Stellgröße ( $M_\theta$ ) in Abhängigkeit vom Drehwinkel ( $\theta$ ) und Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_\theta$ ) des ersten Lagerelements (16) um die erste Achse (16a) durchgeführt wird.

2. Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regelung mit einem Regler mit PD-Charakteristik nach der Gleichung

$$M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta, \text{ wobei } |c| \text{ und } |k| < 0$$

durchgeführt wird.

3. Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Regelung zusätzlich noch der Drehwinkel ( $\psi$ ) und/oder die Winkelgeschwindigkeit ( $\omega_\psi$ ) des zweiten Lagermittels (18) nach der Gleichung

$$M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta + a \cdot \omega_\psi,$$

und/oder

$$M_\theta = c \cdot \theta + k \cdot \omega_\theta + a \cdot \omega_\psi + b \cdot \psi,$$

wobei  $|a|$  und  $|b| < 0$  oder  $a$  oder  $b = 0$  berücksichtigt werden.

4. Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Regelung noch eine translatorische Beschleunigung in x-, y- und/oder z-Richtung berücksichtigt wird.

5. Verfahren zur Regelung eines nach dem gyroskopischen Prinzip arbeitenden Rotationsdämpfers nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Regelung eine rotatorische Winkelposition, Winkelgeschwindigkeit und/oder Winkelbeschleunigung um die x-, y- und/oder z-Richtung der Karosserie (100) zur Straße bzw. dem Untergrund berücksichtigt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

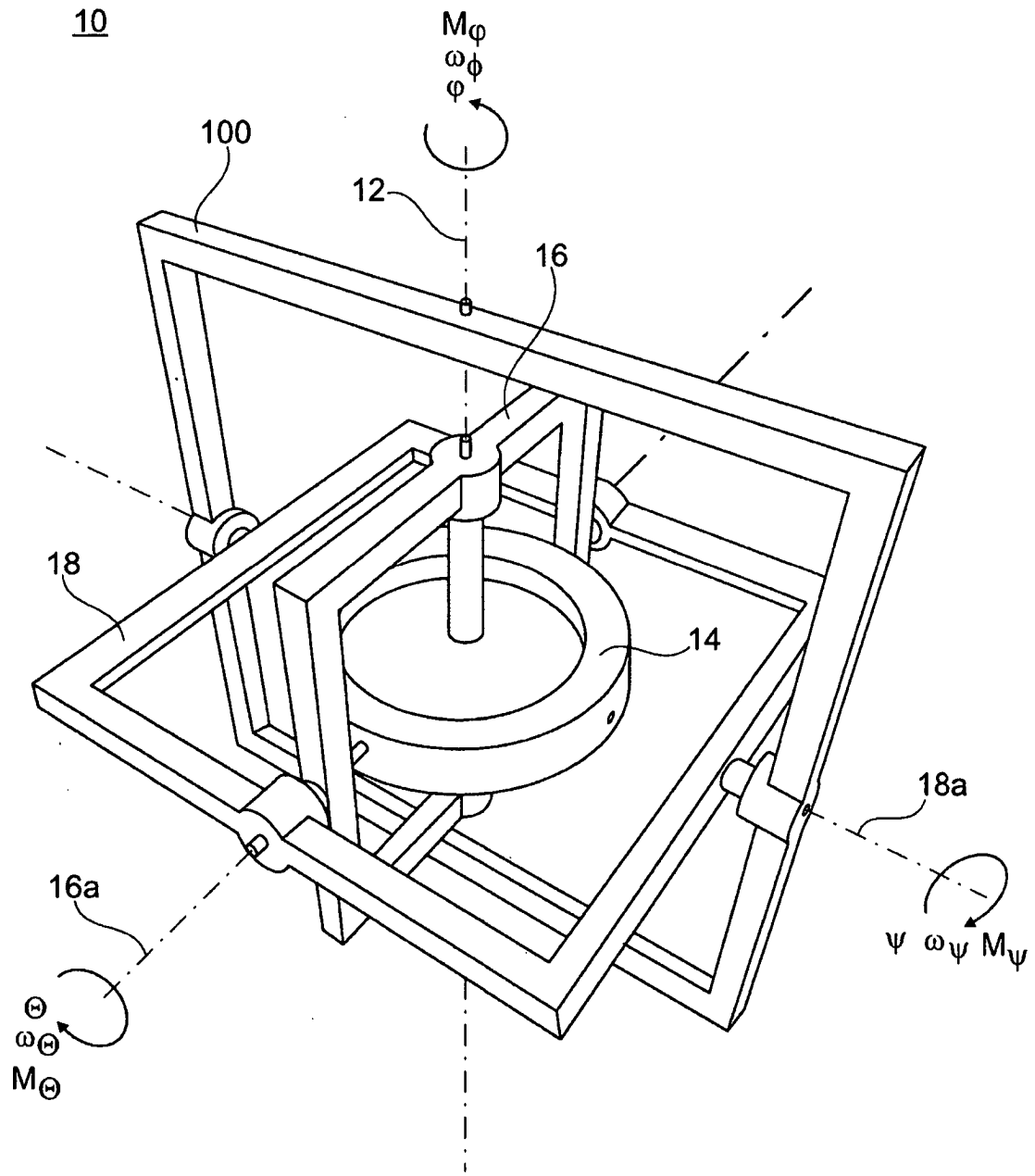


Fig. 1