



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 14 205 T2 2004.11.25

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 107 852 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 14 205.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/17764

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 960 101.6

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 00/12269

(86) PCT-Anmeldetag: 05.08.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 09.03.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 20.06.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 14.01.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 25.11.2004

(51) Int Cl.⁷: B64G 1/28

B01J 23/22

(30) Unionspriorität:

139989 26.08.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Honeywell Inc., Morristown, N.J., US

(72) Erfinder:

DAVIS, P., Lawrence, Phoenix, US; HYDE, T.,
Tristam, Phoenix, US

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: MOMENTENSTEUEREINHEIT FÜR RAUMFAHRZEUGLAGESTEUERUNG

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK****ERFINDUNGSGEBIET**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Fahrzeugsteuerung und insbesondere eine Lageregelungsvorrichtung für Raumfahrzeuge. Ganz besonders betrifft die vorliegende Erfindung eine neuartige Anordnung für Reaktionsräder (reaction wheels, RWs), Drallräder (momentum wheels, MWs) und/oder Steuermomentkreisel (control moment gyros, CMGs), wodurch ein Raumfahrzeug positioniert und seine Lage geregelt wird.

BESCHREIBUNG DES STANDS DER TECHNIK

[0002] Zum Regeln der Lage von Raumfahrzeugen werden seit langem RWs, MWs und CMGs verwendet. Sie wurden dafür ausgelegt, Reaktionsdüsen für zyklische Manöver zu ersetzen und stellten verbesserte Steuerung, längere Lebensdauer des Raumfahrzeugs und reduzierte Treibstoffanforderungen bereit. Im allgemeinen Stand der Technik wurden eine Anzahl, mindestens drei und üblicherweise mehr aus Gründen der Redundanz und eines ausfallsichereren Betriebs an verschiedenen Stellen am Raumfahrzeug montiert, wie es durch das Volumen, den Aufbau und Wärmeüberlegungen diktiert wurde und wo ausreichend Platz zur Verfügung stand. Die Komponenten, die voneinander entfernt sind, weisen eine Reihe von Nachteilen auf. Beispielsweise sind mehrere Elektronikkästen für jede Komponente erforderlich, und dies führt ein größeres Gewicht, Volumen, größere Kosten und eine stärkere Wärmeerzeugung ein. Im Stand der Technik muß jeder CMG, jedes MW oder RW getrennt installiert werden, und viele der Funktionen müssen von dem Raumfahrzeug-Integrator kalibriert und getestet werden. Der CMG nach dem Stand der Technik erfordert einen Kardanratensor oder Tachometer, mit dem in Kombination mit anderen Daten eine Annäherung des Drehmoments abgeleitet werden kann, das das Raumfahrzeug erhält. Der Sensor selbst induziert höherfrequente Signale, die dazu führen, daß zusätzliche und unerwünschte Schwingungen auf das Raumfahrzeug übertragen werden. Der CMG nach dem Stand der Technik verwendet schließlich ringartige Montagestrukturen, die an eine Plattenstruktur im Raumfahrzeug geschraubt sind. Diese hauptsächlich zweidimensionale Struktur ist strukturell ineffizient. Jede Einheit liefert als ihre einzige Funktion ein Drehmoment an das Raumfahrzeug, doch kann der Nettoeffekt nicht direkt und effizient gemessen werden. Die vorliegende Erfindung ist, wie gezeigt wird, eher ein dreidimensionales System mit ungefähr gleichen Maßen in allen drei Raumachsen. Das US-Patent 4,825,716 zeigt mehrere in einer Konsole montierte Kreisel zum Drehen um getrennte Achsen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0003] Die vorliegende Erfindung stellt eine Einrichtung wie in Anspruch 1 definiert bereit.

[0004] Die Einrichtung kann die Merkmale von einem beliebigen oder mehreren der abhängigen Ansprüche 2 bis 4 enthalten.

[0005] Die vorliegende Erfindung beinhaltet auch ein Verfahren wie in Anspruch 5 definiert.

[0006] Die vorliegende Erfindung überwindet die Probleme des Stands der Technik durch Bereitstellen einer integrierten einzigen unitären Struktur, die mehrere sich drehende Körper enthält, die Elektronik zu ihrer Steuerung und die Intelligenz zur Kopplung mit dem Raumfahrzeug auf der Teilsystemebene. Das Umpacken des Systems in eine einzige integrierte Einheit gestattet dem Hersteller, eine einzige und effizientere Struktur zu entwerfen, die die inneren Kardanbaugruppen der RWs, MWs oder CMGs aufnimmt. Bei CMGs kann der äußere Kardanbasisring als getrenntes Teil eliminiert werden und die geringere Anzahl an Elektronikkästen kann reduziert werden, was zu einem reduzierten Gewicht führt, und die Anzahl der Verbindungen mit dem Fahrzeug reduziert das Gewicht und verbessert die Wärmeleitungsübertragung zu den äußeren Oberflächen des Fahrzeugs. Außerdem braucht sich der Hersteller der Einheit nun um eine einzige Momentensteuereinheit zu kümmern, und die Einheit kann bei Lieferung eingesteckt werden, um die Kosten des Bauträgers zu reduzieren und den Herstellungszeitplan des Raumfahrzeugs zu verbessern. Das Gesamtvolumen, das die unitären Strukturen beanspruchen, ist kleiner als das von getrennt angebrachten Einheiten. Die Anordnung und andere durch das Zusammengruppieren ermöglichten Designänderungen wandelt das Ergebnis in ein System auf höherer Ebene um, das viele Vorteile anbietet, einschließlich besserer Leistung, der Fähigkeit zur präziseren und direkteren Messung der Leistung, geringeren Gewichts, geringeren Stroms, einer kleineren Baugruppe und geringerer Kosten. Durch die Verwendung gemeinsamer Schaltungen im System wird die Anzahl elektronischer Komponenten reduziert. Auch die Anzahl und das sich ergebende Gewicht von Kabeln und Verbinder wird reduziert. Indem sie gruppiert werden und ein einziges sechsachsiges koppelndes Kinematik-/Kraftmeßsystem zugefügt wird, wie hier vorgeschlagen ist, wird ein effektiveres Servosteuersystem ermöglicht, um das resultierende Nettodrehmoment und die sich daraus ergebende Bewegung des Raumfahrzeugs zu regeln. Dies ermöglicht weiterhin die Hinzufügung eines einzigen Isolierungssystems als integralen Bestandteil des Kraftmeßsystems, um unerwünschte hochfrequente Schwingungskräfte zu reduzieren oder zu filtern, die sonst auf das Raumfahrzeug übertragen werden. Die vorliegende Erfin-

dung vermeidet nicht nur dieses Problem, sie verringert auch die Effekte von anderen Quellen hochfrequenter Schwingungen, wie etwa diejenigen, die durch Lager- und Rotorunwucht verursacht werden. Die vorliegende Erfindung gestattet dem Hersteller, diesen Prozeß viel professioneller abzuschließen, bevor er die Fabrik verläßt, und parallel zum Bau des Raumfahrzeugs. Indem der Hersteller mit einem Satz Anforderungen arbeitet, die auf einem höheren Niveau liegen, kann er die Anforderung auf einem niedrigeren Niveau lockern, wodurch seine Herstellungs-kosten reduziert werden. Der Einbau in das Raumfahrzeug ist viel einfacher. Das Ergebnis sind gerin-gere Kosten für den Raumfahrzeug-Integrator und erheblich reduzierte Raumfahrzeugherrstellungszeit-pläne, was die Kosten weiter reduziert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0007] **Fig. 1** ist eine bevorzugte Ausführungsform einer unitären Struktur der vorliegenden Erfindung, in der mehrere Steuermomentkreisel untergebracht sind;

[0008] **Fig. 2** ist eine bevorzugte Montagestruktur, die die unitäre Struktur von **Fig. 1** an einem Fahrzeug befestigt, und

[0009] **Fig. 3** ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform der unitären Struktur der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVOR-ZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0010] Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** ist eine unitäre Momentensteuereinheit (MCU) **10** gezeigt, die vier durch die Bezugszahlen **12**, **14**, **16** und **18** identifi-zierte Steuermomentkreisel (CMGs) enthält. Wenn-gleich die Struktur der MCU **10** als eine symmetri-sche 14-seitige Struktur gezeigt ist, sind andere Kon-figurationen möglich, und wenngleich CMGs für die bevorzugte Ausführungsform verwendet werden, können andere Glieder mit sich drehender Masse wie etwa Reaktionsräder oder Drallräder verwendet werden. Es ist außerdem zu verstehen, daß zwar vier CMGs gezeigt worden sind, weniger verwendet wer-den können. Drei CMGs sind für eine Dreiachsen-steuerung erforderlich, und der vierte CMG dient der Redundanz. Außerdem können für ausfallsichere und fail operational Funktionen mehr als vier CMGs eingesetzt werden. Ein Elektronikgehäuse **20** mit ei-nem Eingangsanschluß **22**, das eine Verbindung mit jedem der CMGs bereitstellt, ist durch die Verbinder **24**, **26**, **28** und **30** gezeigt. Durch das Anordnen der Elektronik an der gleichen Stelle wie die CMGs wird der Umfang der erforderlichen Elektronik reduziert und ermöglicht, daß die Einheit so getestet wird, daß sich alle CMGs an ihrer Stelle befinden.

[0011] Der CMG **12** ist durch ein Montageglied **40** an einem Ende und durch ein unsichtbares zentral angeordnetes Montageglied auf eine in Verbindung mit **Fig. 3** zu beschreibende Weise an der MCU **10** montiert. Der CMG **14** ist durch ein Montageglied **42** an einem Ende und durch das unsichtbare zentral angeordnete Montageglied an der MCU **10** montiert. Der CMG **18** ist durch ein Montageglied **44** an einem Ende und durch das unsichtbare zentral angeordnete Montageglied an der MCU **10** montiert. Der CMG **16** ist analog zu den beiden anderen durch zwei unsichtbare Montageglieder montiert.

[0012] Die MCU wird in einer starren Anordnung gehalten, die aus mehreren Endgliedern, die als Kugeln **50** gezeigt sind, und mehreren länglichen Verbin-dungsgliedern **52** besteht. Ein Elektronikkasten **20** kann mit einem oder mehreren der länglichen Glieder **52** verbunden sein.

[0013] Man kann sehen, daß die Orientierung der CMGs derart ist, daß sie auf keinerlei gemeinsamer Achse liegen. Somit wird das durch die CMGs vermit-telte Drehmoment in eine Anordnung aus drei ortho-gonalen Achsen aufgelöst, indem Vektoraddition ih-rer individuellen Drehmomente verwendet wird. Auf diese Weise wird das Raumfahrzeug, an dem die MCU montiert ist, wie in Verbindung mit **Fig. 2** be-schrieben, wie gewünscht ausgerichtet. Falls ein CMG ausfällt, kann der vierte CMG verwendet wer-den, um ein etwaiges fehlendes Drehmoment bereit-zustellen.

[0014] Die Montage der MCU **10** am Raumfahrzeug ist wichtig, um das erforderliche Drehmoment bereit-zustellen und emittierte Schwingung zu minimieren. Die Montage sollte außerdem kinematisch sein, um eine Belastung aufgrund von Temperaturänderungen zu minimieren. Dies kann durch ein strebenartiges Element bewerkstelligt werden, das entlang seiner Längsachse eine relativ hohe Steifheit und bei den anderen Achsen eine relativ geringe Steifheit auf-weist. Die gleichzeitig anhängige eigene Anmeldung von David Osterberg mit dem Titel Load Isolator apparatus, am 29. Januar 1997 mit der laufenden Num-mer 08/790,647 eingereicht, beschreibt eine Lastiso-latordämpferanordnung, die verwendet werden kann. Die Anzahl der Streben, mit denen die MCU montiert wird, ist ebenfalls wichtig. Eine der stabilsten Mög-lichkeiten zum Montieren einer Struktur erfolgt über eine Sechsfüßanordnung (Hexapod), auch bekannt als Stewart-Plattform, wie in Verbindung mit **Fig. 2** be-schrieben wird.

[0015] In **Fig. 2** ist aus Gründen der Übersichtlich-keit ein kleiner Teil der Struktur von **Fig. 1** etwas ver-größert gezeigt. Drei Montageglieder **60**, **62** und **64**, bei denen es sich um Glieder handeln kann, wie etwa die, die als Montageglieder **40** von **Fig. 1** gezeigt sind, sind so gezeigt, daß sie durch längliche Verbin-

dungsglieder **66**, **68** und **70** verbunden sind, bei denen es sich um geeignete drei der Verbindungsglieder **52** von **Fig. 1** handeln kann. Eine Sechsfußbefestigung, die aus sechs Streben **72**, **74**, **76**, **78**, **80** und **82** besteht, sind gezeigt. Die Streben **72** und **74** sind jeweils mit einem Ende mit Montageglied **60** verbunden, während ihre anderen Enden schwenkbar mit Drehpunkten **84** und **86** verbunden sind, damit sie sich um die Achsen **88** bzw. **90** drehen können. Die Streben **76** und **78** sind jeweils mit einem Ende mit Montagegliedern **62** verbunden, während ihre anderen Enden schwenkbar mit Drehpunkten **94** und **96** verbunden sind, damit sie sich um die Achsen **98** bzw. **100** drehen können. Die Streben **80** und **82** sind jeweils mit einem Ende mit Montageglied **64** verbunden, während ihre anderen Enden schwenkbar mit Drehpunkten **102** und **104** verbunden sind, damit sie sich um die Achsen **106** bzw. **108** drehen können. Die Drehpunkte **84**, **86**, **94**, **96**, **102** und **104** sind jeweils mit dem Raumfahrzeug verbunden, wie durch schraffierte Linien **110** gezeigt ist.

[0016] Die Streben **72**, **74**, **76**, **78** und **80** sind so ausgelegt, daß sie ein vorbestimmtes gewünschtes Ausmaß an statischer Steifheit und passiver Dämpfung enthalten. Das passive Isolierungssystem wird ein mechanischer Tiefpaßfilter, der gewünschte Drehmomente auf das Raumfahrzeug überträgt und gleichzeitig unerwünschte höherfrequente Schwingungen eliminiert. Zudem reduziert das passive Isolierungssystem strukturelle Belastungen und Lagerbelastungen beim Abschuß, reduziert Gewicht und Stromverbrauch und gestattet den Einsatz kleinerer Lager, die weniger Schwingung emittieren und mit höheren Geschwindigkeiten arbeiten können und gleichzeitig für eine längere Lebensdauer sorgen. Indem die Drehrotor-Lagerhalterung abgestimmt und an der Grenzfläche eine passive viskose Dämpfung hinzugefügt wird, kann jeder CMG Dämpfung und ein Maß an Schwingungsisolierung bereitstellen.

[0017] Indem Kraftsensoren in den Streben verwendet und die Informationen an ein Steuersystem weitergeleitet werden, kann die Präzision des übertragenen Drehmoments verbessert werden. Indem die von dem MCU-Array emittierten eigentlichen Kräfte gesteuert werden anstatt von jedem CMG, kann man eine Vergrößerung des Dynamikbereichs und der Genauigkeit des ganzen Momentensteuersystems erzielt werden. Schließlich kann zu jeder Strebe ein Aktuator hinzugefügt werden, damit man eine Steuerungsfähigkeit mit aktiver Isolierung erhält. Diese kann dazu verwendet werden, die Frequenz abzusenken, mit der Isolierung und Drehmomentsteuerung bereitgestellt werden können.

[0018] Wenngleich wie erwähnt eine Sechsfußanordnung bevorzugt wird, kann es Situationen geben, in denen es praktischer ist, mehr Montageglieder zu verwenden. Falls beispielsweise ein rechteckiges

Gehäuse verwendet wird, könnte und Acht-Streben-Anordnung mit zwei Streben an jeder der vier Ecken bevorzugt werden.

[0019] **Fig. 3** zeigt eine Achtfußmontageanordnung.

[0020] In **Fig. 3** ist eine unitäre Momentensteuereinheit **120** mit vier darin montierten CMGs **122**, **124**, **126** und **128** gezeigt. Der CMG **122** ist an einem Ende an einem Montageglied **130** montiert, ähnlich der Montageanordnung von **Fig. 1**. Das andere Ende des CMG **122** ist an einem zentralen Montageglied **134** montiert, und die (unsichtbare) sich drehende Masse darin dreht sich um eine Achse **138**. Der CMG **124** ist an einem Ende an einem Montageglied **140** montiert, und das andere Ende ist an dem zentralen Montageglied **134** montiert, und seine (unsichtbare) sich drehende Masse dreht sich um eine Achse **144**. Der CMG **126** ist an einem Ende an einem Montageglied **150** montiert, und das andere Ende ist an dem zentralen Montageglied **134** montiert, und seine (unsichtbare) sich drehende Masse dreht sich um eine Achse **154**. Der CMG **128** ist an einem Ende an einem Montageglied **160** montiert, und das andere Ende ist an dem zentralen Montageglied **134** montiert, und seine (unsichtbare) sich drehende Masse dreht sich um eine Achse **164**. Ansonsten ist die Struktur der MCU **120** gleich der Struktur der MCU **10** in **Fig. 1** und wird nicht weiter beschrieben, außer daß angemerkt wird, daß Montageglieder **134**, **14**, **150** und **160** mit acht Streben **172**, zwei in jeder Ecke, am Raumfahrzeug montiert sind (durch Schraffierungsmarkierungen **170** gezeigt). Die Streben **172** können die gleichen sein wie in Verbindung mit **Fig. 2** beschrieben. Der Elektronikkasten **20** von **Fig. 1** wurde der Übersichtlichkeit halber in **Fig. 3** weggelassen.

[0021] Man kann sehen, daß das Gehäuse, das die unitäre MCU **10** umfaßt, von der allgemeinen Gesamtgestalt her kugelförmiger ist, während die Struktur des Gehäuses von MCU **120** flacher ist. Es können auch andere Gestalten von Strukturen verwendet werden, um eine Gestalt bereitzustellen, die sich für die Verfügbarkeit von Platz im Raumfahrzeug am besten eignet. Es ist ersichtlich, daß die unitäre Struktur es dem Hersteller erleichtert, die Dynamik des Systems vor der Montage im Raumfahrzeug zu testen, und daß eine einzige Halterung alles ist, was benötigt wird, um es operativ zu machen.

[0022] Dem Fachmann ergeben sich viele Änderungen und Modifikationen. Beispielsweise läßt sich, wie erwähnt, die unitäre Struktur auf RWs und MWs sowie die in den bevorzugten Ausführungsformen verwendeten CMGs anwenden. Dementsprechend möchte ich nicht auf die hier in Verbindung mit den hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen verwendeten spezifischen Strukturen beschränkt werden.

Patentansprüche

1. Momentensteuereinrichtung zum Positionieren eines Raumfahrzeugs, umfassend:
 mehrere Körper, die jeweils betätigt werden können, so daß sie sich um getrennte Achsen drehen und mehrere Kräfte erzeugt werden; eine unitäre Struktur;
 Montageglieder, die mit jedem sich drehenden Körper und der unitären Struktur verbunden sind, um eine unitäre Kombination zum Aufnehmen der Kräfte bereitzustellen;
 eine Befestigungseinrichtung, die aus mehreren Streben mit einer vorbestimmten statischen Steifheit und einer passiven Dämpfung bestehen, die mit der unitären Kombination verbunden sind und zur Verbindung mit dem Raumfahrzeug ausgelegt sind;
 mehrere Sensoren, die betätigt werden können, um Kraftsignale zu erzeugen, die die Kräfte in den Streben anzeigen, und
 ein Steuersystem, das so angeschlossen ist, daß es die Kraftsignale empfängt, um den Betrieb der sich drehenden Körper beim Steuern der Lage des Raumfahrzeugs zu steuern.

2. Momentensteuereinrichtung nach Anspruch 1, wobei die sich drehenden Körper Steuermomentkreisel sind und das Steuersystem in der unitären Kombination enthalten ist.

3. Momentensteuereinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Streben als ein Sechsfuß angeordnet sind.

4. Momentensteuereinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Streben als ein Achtfuß angeordnet sind.

5. Verfahren zum Montieren mehrerer drehbarer Körper an einem Raumfahrzeug zum Erteilen eines gewünschten Drehmoments zum Ändern der Lage des Raumfahrzeugs, umfassend:
 Befestigen eines ersten der mehreren Körper an der unitären Montagestruktur, damit sich der erste Körper um eine erste Achse drehen kann;
 Befestigen eines zweiten der mehreren Körper an der unitären Montagestruktur, damit sich der zweite Körper um eine zweite Achse drehen kann, die mit der ersten Achse nicht kolinear ist;
 Befestigen eines dritten der mehreren Körper an der unitären Montagestruktur, damit sich der dritte Körper um eine dritte Achse drehen kann, die mit der ersten oder zweiten Achse nicht kolinear ist;
 Befestigen mehrerer Streben mit einer vorbestimmten statischen Steifheit und passiven Dämpfung zwischen der unitären Struktur und dem Raumfahrzeug, so daß von den mehreren Körpern in den Streben Kräfte erzeugt werden zur Bereitstellung des gewünschten Drehmoments und zur Reduzierung der Übertragung von den Körpern erzeugten Schwingungen mit unerwünschten Frequenzen zum Raumfahrzeug;

Erzeugen von Kraftsignalen, die durch die Streben auf das Raumfahrzeug einwirkende Kräfte darstellen, und

Installieren eines Steuersystems in der unitären Struktur zum Empfangen der Kraftsignale und Steuern des Betriebs der Körper, um das Drehmoment als Funktion der Kraftsignale zu erzeugen und die Lage des Raumfahrzeugs zu ändern.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

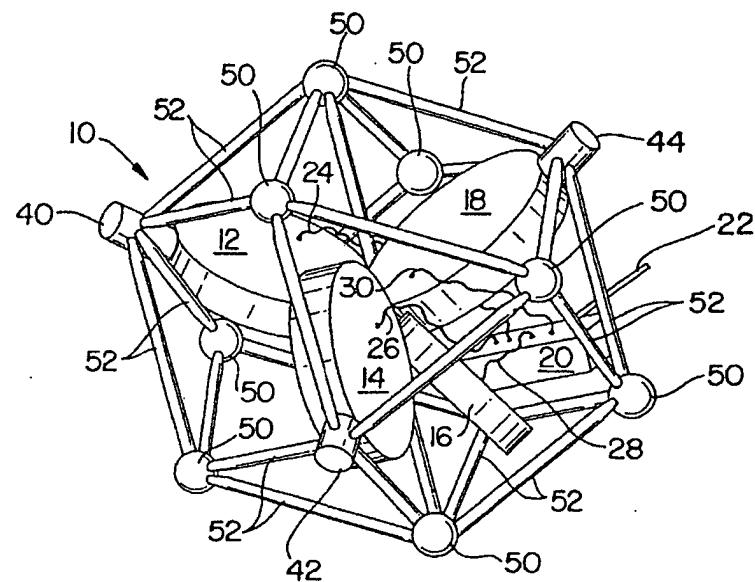


FIG. 1

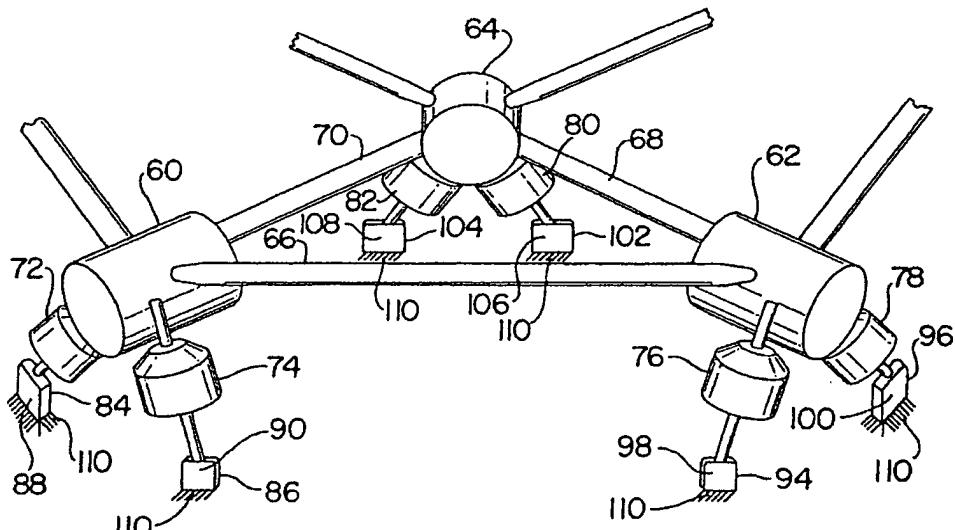


FIG. 2

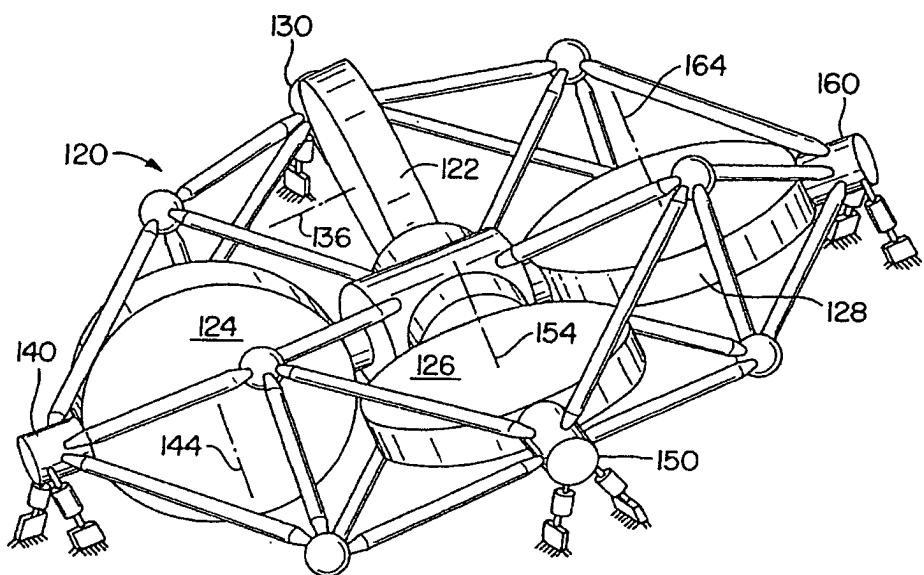


FIG. 3