



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 34 767 T2** 2006.10.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 757 647 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 34 767.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US95/04929**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 918 276.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1995/029842**

(86) PCT-Anmeldetag: **24.04.1995**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **09.11.1995**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.02.1997**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **01.02.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.10.2006**

(51) Int Cl.⁸: **B64C 27/32 (2006.01)**

B64C 27/39 (2006.01)

B64C 27/605 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

233159 25.04.1994 US

(73) Patentinhaber:

Arlton, Paul E., West Lafayette, Ind., US

(74) Vertreter:

Prinz und Partner GbR, 80335 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

gleich Anmelder

(54) Bezeichnung: **HAUPTROTOR SYSTEM FÜR HUBSCHRAUBER**

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 eingelegt, 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

Hintergrund und Zusammenfassung der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet von Schub erzeugenden Rotoren für Modellhubschrauber als auch für Hubschrauber in natürlicher bzw. voller Größe. Im Spezielleren betrifft die vorliegende Erfindung zugstarke Rotoren für alle Arten von Hubschraubern, und auch einfache und preiswerte Rotoren zum Einsatz in Modellhubschrauberanwendungen.

[0002] Hubschrauber sind Flugmaschinen, die die Fähigkeit haben, zu schweben und nach vorne, nach hinten und auch in seitlicher Richtung zu fliegen. Diese Wendigkeit ist auf die vielfachen Fähigkeiten des Hauptrotorsystems zurückzuführen. Seit der Erfindung von Hubschraubern in den 30er-Jahren des 20. Jahrhunderts wurden beträchtliche Anstrengungen unternommen, um die Hubschraubertechnologie voranzubringen, wobei sich ein wesentlicher Prozentsatz dieser Anstrengungen auf das Hauptrotorsystem konzentrierte.

[0003] Während die Technologie von Hubschraubern in natürlicher Größe voranschritt, blieben Modellhubschrauber mangels geeigneter Motoren, Funksteuerungsanlagen und Konstruktionswerkstoffe praxisuntauglich. In demselben Maße, wie sich der Stand der Technik bei Hubschraubern in natürlicher Größe in den 50er und 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts weiterentwickelte, hat man viele neue Modellhubschrauberkonstruktionen entwickelt, von denen sich aber keine als praxistauglich erwies. Konstrukteure von Modellhubschraubern haben oftmals die Konstruktionen von in natürlicher Größe ausgeführten Hubschraubern abgekupfert, ohne die grundlegenden Unterschiede zwischen einem Fluggerät in natürlicher Größe und einem Modellfluggerät zu verstehen. Im Ergebnis waren im Maßstab verkleinerte Modellhubschrauber während des Flugs typischerweise instabil und auch mit zu geringer Motorleistung ausgestattet.

[0004] Während Modellhubschrauber und Hubschrauber in natürlicher Größe mechanisch gesehen ähnlich sind, unterscheiden sich die aerodynamischen Eigenschaften, Betriebsdrehzahlen und die Gewichte von Modellhubschraubern sehr stark von denen ihrer in voller Größe ausgebildeten Gegenstücke. Die Rotoren von Modellhubschraubern arbeiten in einem niedrigen Drehzahlbereich, wo der aerodynamische Widerstand aufgrund der Dicke des Rotorblattprofils zu einem sehr wichtigen Punkt wird. Frühe Versuche, die bei in voller Größe ausgebildeten Hubschraubern verwendeten, dicken Tragflächenprofile einzusetzen, schlugen zum Teil fehl, weil die damals erhältlichen Motoren den hohen Luftwiderstand der Rotorblätter nicht überwinden konnten.

[0005] In den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelten Hobbyflieger die ersten praxistauglichen Modellhubschrauber. Leichtere Funksteuerungsanlagen, leistungsfähigere Motoren und eine systematische Entwicklungsarbeit trugen jeweils zu frühen Erfolgen bei. Ein großer Teil der Modellhubschrauberkonstruktion wurzelt jedoch in der Tradition. Obwohl die Hubschraubertechnologie seit dieser Zeit beachtliche Fortschritte gemacht hat, sind die Konstruktionen und Konstruktionsphilosophien dieser Ära in der Anwendung immer noch weit verbreitet. Mit einem besseren Verständnis der für kleine Maßstäbe geltenden aerodynamischen und kinematischen Verhältnisse lässt sich ein Modellhubschrauberrotor mit Fähigkeiten entwerfen, die über die der derzeit erhältlichen hinausgehen. Bestimmte Aspekte des Rotors können auch für in voller Größe ausgebildete Fluggeräte nützlich sein.

[0006] Weil das Hauptrotorsystem eines Hubschraubers dazu in der Lage ist, so viele Flugfunktionen auszuführen, ist es üblicherweise mechanisch sehr komplex. Derzeit erhältliche Modellhubschrauber weisen unzählige Schubstangen, Abzweigarme, Kugelgelenke sowie teure Kugellager auf. In Taumelscheibenbaugruppen zum Steuern des Hauptrotors werden oftmals spezielle Kugellagereinheiten eingesetzt, die die Kosten noch weiter in die Höhe treiben.

[0007] In der US-A-4 419 051 ist ein Hauptrotorsystem eines in Normalgröße ausgebildeten Hubschraubers offenbart, das gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ausgebildet ist.

[0008] Im Hinblick auf die Kosten, die Komplexität und das Hubvermögen moderner Rotorsysteme besteht ein Bedarf an einem zugstarken Rotorsystem, das relativ einfach, kostengünstig und leicht herzustellen ist.

[0009] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein zugstarkes Rotorsystem für Hubschrauber in voller Größe und Modellhubschrauber bereitzustellen.

[0010] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein einfaches und preiswertes Rotorsystem zur Verwendung in Modellhubschraubern zu schaffen.

[0011] Die oben genannten Aufgaben werden durch einen Hauptrotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0012] Allgemein ausgedrückt wird ein Hauptrotorsystem für einen Hubschrauber bereitgestellt. Eine derartige Vorrichtung ist im Allgemeinen an einem Hubschrauber angebracht und stellt eine steuerbare Triebkraft zur Verfügung, um den Hubschrauber in

die Luft zu erheben und ihn in eine beliebige Richtung zu treiben.

[0013] Genauer gesagt umfasst das Rotorsystem zur Erzeugung des aerodynamischen Auftriebs Rotorblätter und Hilfsrotorblätter. Diese Hilfsrotorblätter sind auch dahingehend wirksam, die Steuerung und Stabilität des Rotors zu erhöhen. Das Rotorsystem umfasst auch eine Taumelscheibenbaugruppe und eine Gestängeeinrichtung, um die Steuerbefehle des Piloten auf die sich drehenden Rotorblätter zu übertragen.

[0014] Zusätzliche Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich dem Fachmann bei Betrachtung der nun folgenden ausführlichen Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen, in der die An zur Ausführung der Erfindung veranschaulicht ist, wie sie gegenwärtig als optimal angesehen wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Die ausführliche Beschreibung bezieht sich insbesondere auf die begleitenden Zeichnungen. In diesen zeigen:

[0016] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht eines Modellhubschraubers mit einem Hauptrotorsystem gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0017] [Fig. 2](#) eine vergrößerte perspektivische Ansicht des Hauptrotorsystems von [Fig. 1](#), wobei alle anderen Teile des Hubschraubers der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0018] [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung eines vereinfachten Hauptrotorblatts;

[0019] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung eines Hauptrotorblatts mit Schlaggelenken und Schwenkgelenken;

[0020] [Fig. 5](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht von Nabenteilen, die im Hauptrotorsystem der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) enthalten sind, in der Einzelheiten der Nabenteile vor der Montage gezeigt sind, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0021] [Fig. 6](#) eine perspektivische Ansicht der das Hauptrotorsystem bildenden Nabenteile von [Fig. 5](#), in der Einzelheiten nach der Teilmontage gezeigt sind, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0022] [Fig. 7](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht der Nabenbaugruppe des Hauptrotorsystems, in der der Rotorblatthalter und die Wippenbefestigung gezeigt sind, wie sie vor ihrer Anbrin-

gung an die Nabenbaugruppe aussehen, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0023] [Fig. 8](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht der Nabenbaugruppe des Hauptrotorsystems, in der die Komponenten der Abzweigarm-Verbindungsbefestigung gezeigt sind, bevor sie an der Nabenbaugruppe angebracht werden, wobei der Übersichtlichkeit halber alle anderen Teile weggelassen sind;

[0024] [Fig. 9](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht der Nabenbaugruppe des Hauptrotorsystems, in der der Hilfsrotor gezeigt ist, wie er vor der Anbringung an der Nabenbaugruppe aussieht, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0025] [Fig. 10](#) eine Ansicht ähnlich [Fig. 9](#), in der der Hilfsrotor nach erfolgter Teilmontage an der Nabenbaugruppe gezeigt ist, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0026] [Fig. 11](#) eine Ansicht ähnlich [Fig. 10](#), in der das Rotorblatt und die Rotorwellenbefestigung gezeigt sind, wie sie aussehen, bevor sie an die Nabe und die Hilfsrotorbaugruppe angebaut werden, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0027] [Fig. 12](#) eine auseinander gezogene Ansicht des oberen und unteren Lagerhalteblocks, die in dem in [Fig. 2](#) und [Fig. 11](#) gezeigten Hauptrotorsystem enthalten sind, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0028] [Fig. 13](#) eine Stirnansicht eines Blatthalters, in der die relative Lage der Schlag- und Schwenkgelenkachsen dargestellt ist;

[0029] [Fig. 14](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht der Taumelscheibe des Hauptrotorsystems der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#);

[0030] [Fig. 15](#) eine [Fig. 14](#) ähnliche Ansicht, in der eine Kugel/Laufring-Einstellung gezeigt ist, die sich für den Einsatz in der Taumelscheibe gemäß der vorliegenden Erfindung eignet;

[0031] [Fig. 16](#) eine auseinander gezogene, perspektivische Ansicht, in der gezeigt ist, wie die Taumelscheibe von [Fig. 14](#) am oberen Lagerblock der [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) angebracht ist, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0032] [Fig. 17](#) eine perspektivische Ansicht der montierten Taumelscheibe, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0033] **Fig. 18** eine Seitenansicht des Hauptrotorsystems von **Fig. 1**, in der in erster Linie die Wirkungsweise der Abzweigarm-Steuergeräteeile gezeigt ist, wobei Abschnitte der im Querschnitt gezeigten Taumelscheibe das Hauptrotorblatt im Ansprechen auf ein Verkippen der Taumelscheibe neigen, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0034] **Fig. 19** eine Seitenansicht des Hauptrotorsystems von **Fig. 1**, in der in erster Linie die Wirkungsweise der Hilfsrotor-Steuergeräteeile gezeigt ist, die das Hilfsrotorblatt im Ansprechen auf ein Verkippen der Taumelscheibe neigen, wobei Abschnitte der Taumelscheibe, des Rotorblatts und des Hilfsrotors im Querschnitt gezeigt und alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind;

[0035] **Fig. 20** eine Querschnittsansicht eines typischen Rotorblatts;

[0036] **Fig. 21a-g** sind Ansichten eines Rotorblatts gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei Einzelheiten von Tragflächenquerschnitten an mehreren Stellen entlang der Spannweite des in **Fig. 21** gezeigten Rotorblatts gezeigt sind, um die Verwindung und Wölbung des Rotorblatts darzustellen; und

[0037] **Fig. 22** eine perspektivische Ansicht einer alternativen Ausführungsform des Hauptrotorsystems, in dem kollektiv verstellbare Hilfsrotorblätter verwendet werden, wobei alle anderen Teile der Übersichtlichkeit halber weggelassen sind.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0038] Mit Bezug auf **Fig. 1** umfasst ein Hubschrauber **15** gemäß der vorliegenden Erfindung einen großen Hauptrotor **1**, der den Hubschrauber **15** in die Luft erhebt, und einen kleineren Heckrotor **2**, der dazu verwendet wird, dem vom Hauptrotor **1** erzeugten Drehmoment entgegenzuwirken und den Hubschrauber **15** zu steuern.

[0039] Der Hauptrotor **1** dreht sich um eine vertikale Achse **9** und umfasst ein Paar Rotorblätter **100** und ein Paar kürzere Hilfsrotorblätter **84**. Sowohl der Hauptrotor **1** als auch der Heckrotor **2** werden von einem Motor **3** angetrieben, der sich üblicherweise im Rumpf (Korpus) des Hubschraubers nahe bei der vertikalen Achse **9** des Hauptrotors befindet. Wie dargestellt ist, bedeckt eine stromlinienförmige Rumpfhülle **4** die Vorderseite des Hubschraubers **15**, ohne sich entlang eines Heckauslegers **16** zum Heckrotor **2** zu erstrecken.

[0040] Aus der Entfernung sehen Hauptrotoren eines Hubschraubers oberflächlich betrachtet wie große Luftschrauben aus, die oben am Rumpf des Hubschraubers sitzen. Genau wie Luftschrauben sind

auch Hauptrotoren eines Hubschraubers dazu ausgelegt, eine Schub- oder Auftriebskraft zu erzeugen. Verglichen mit Luftschrauben, arbeiten Hauptrotoren eines Hubschraubers jedoch in einer völlig anderen Art und Weise. Im Unterschied zu Luftschrauben sind sie dazu ausgelegt, sich seitlich durch die Luft zu bewegen; die Auftriebskraft, die den Hubschrauber oben hält, kann auch so gerichtet werden, dass sie den Hubschrauber in eine beliebige Richtung treibt.

[0041] Der Heckrotor **2** ist um eine quer liegende Heckrotorachse **19** drehbar gelagert, wie in **Fig. 1** gezeigt ist. Der Heckrotor **2** fungiert zur Steuerung der Gierbewegung des Hubschraubers, an dem er angebracht ist. Die Gierbewegung ist eine Drehbewegung des Hubschraubers **15** um eine vertikale Achse, wie die Hauptrotorachse **9**.

[0042] Der Heckrotor **2** umfasst eine Rotorwelle, ein Paar Heckrotorblätter **17** und ein Paar sekundäre Blätter **38**, die an einen Mechanismus **39** zum Verändern der Neigung der Heckrotorblätter **17** angekopfelt sind. Der Heckrotor **2** wird um die quer liegende Heckrotorachse **19** durch ein Antriebsgestänge in Drehung versetzt, welches den Motor **3** mit dem Heckrotor **2** verbindet, um eine Schubkraft zu erzeugen, die zum Heckausleger **16** quer gerichtet und zur vertikalen Drehachse **9** des Hauptrotors **1** versetzt ist. Die Größe der Schubkraft lässt sich durch Verändern des kollektiven Anstellwinkels der Heckrotorblätter **17** verändern, um den Hubschrauber **15** um die vertikale Achse **9** drehen zu lassen, so dass er einen Kurs in eine bestimmte Richtung einnimmt. Bezüglich einer Beschreibung einer geeigneten Vorrichtung zur Betätigung eines Heckrotors zur automatischen Stabilisierung der Gierbewegung eines Hubschraubers wird hier auf das US-Patent Nr. 5,305,968 von Paul E. Arlton verwiesen, welches hiermit durch Bezugnahme mit aufgenommen ist.

[0043] Mit nunmehrigem Bezug auf **Fig. 2** wird im Betrieb der Hauptrotor **1** durch den Motor **3** dazu gebracht, sich an der Rotorwelle **110** in Rotordrehrichtung **12** schnell um die Wellenachse **9** zu drehen. Dabei wirken die Rotorblätter **100** und Hilfsrotorblätter **84** wie Luftschrauben oder Lüfterräder, die große Mengen an Luft in Richtung **27** nach unten bewegen, wodurch eine Kraft erzeugt wird, die den Hubschrauber **15** in die nach oben weisende Richtung **28** erhebt. Um den Hubschrauber **15** beim Horizontalflug zu steuern, lässt der Pilot den sich drehenden Hauptrotor **1** leicht in die eine oder andere Richtung relativ zur Rotorwelle **110** kippen. Durch die vom verkippten Hauptrotor erzeugte, versetzt wirkende Auftriebskraft wird der Hubschrauber horizontal in die Richtung der Verkippfung bewegt.

[0044] Da sich der Hauptrotor **1** am Hubschrauber **15** dreht, während der Rumpf oder Korpus **4** des Hubschraubers **15** dies nicht tut, braucht man ir-

gendeinen Mechanismus, um Steuerbefehle von dem sich nicht mitdrehenden Piloten auf den sich drehenden Hauptrotor **1** zu übertragen. Ein derartiger Mechanismus ist eine Taumelscheibe **140**, die im Wesentlichen eine große Kugellagerbaugruppe darstellt, die die Hauptrotorwelle **110** umgibt. Um den Hauptrotor **1** zu kippen, bewegt der Pilot an der Taumelscheibe **140** befestigte Gestängeteile, die wiederum über Gestängeteile mit den Rotorblättern **100** und Hilfsrotorblättern **84** verbunden sind. Der untere Abschnitt der Taumelscheibe **140** ist an der Rumpfstruktur des Hubschraubers befestigt und dreht sich mit dem Hauptrotor **1** nicht mit, während der obere Abschnitt mit dem Hauptrotor **1** verbunden ist und sich mit diesem mitdreht.

[0045] Die Hilfsrotorblätter **84** dienen einem dreifachen Zweck. Als Teil des Hauptrotor-Steuerungssystems verstärken sie die vom Piloten stammenden Steuerbefehle an die Hauptrotorblätter **100**. Als Teil des Stabilisierungssystems wirken sie dahingehend, dass der Hauptrotor **1** seine Drehung in derselben Ebene im Raum beibehält. Als Rotorblätter können sie einen Auftrieb erzeugen, der die Gegenströmung reduziert oder auflebt, die üblicherweise in der Nähe der Hauptrotornabe **29** vorhanden ist. Zur Verringerung der um den Nabenbereich vorhandenen Gegenströmung können an jedem Rotorsystem Hilfsrotorblätter **84** verwendet werden.

[0046] Um allgemein zu verstehen, wie Hauptrotorsysteme eines Hubschraubers arbeiten, ist es am einfachsten, mit einer vereinfachten Darstellung eines Rotorsystems zu beginnen. Mit nunmehrigem Bezug auf [Fig. 3](#) hat ein schematisches Rotorblatt **8**, das sich in Drehrichtung **12** um eine Wellenachse **9** dreht, eine Neigungsachse **5**, die das Rotorblatt **8** horizontal der Länge nach durchläuft. Wie durch den vertikalen Neigungspfeil **6** gezeigt ist, wird die Blattneigung (auch als "Anstellwinkel" bezeichnet) als positiv betrachtet, wenn die Vorderkante **7** des Rotorblatts **8** um die Neigungsachse **5** in Richtung **18** nach oben gedreht ist. Die von einem Rotorblatt erzeugte aerodynamische Auftriebskraft hängt mit der Blattneigung zusammen. Eine erhöhte (positive Neigung) entspricht einem gesteigerten Auftrieb.

[0047] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, sind Rotorblätter zuzätzlich zu einer Neigungsachse allgemein in der Nähe eines Rotornabenbereichs **37** so angelenkt, dass jedes Rotorblatt um ein Schlaggelenk **10** nach oben und unten schlagen, und an einem Schwenkgelenk **11** nach vorne und hinten schwenken kann. Die Gelenke **10** und **11** ermöglichen es den Rotorblättern **8**, auf die sich ständig ändernden aerodynamischen Kräfte und Kreiselkräfte zu reagieren, die im Flug auftauchen. Ohne die Gelenke **10** und **11** müssten die Rotorblätter **8** in stärkerer und schwerer Ausführung gebaut werden, um den Kräften während eines Flugs zu widerstehen.

[0048] Die dynamischen Verhältnisse an einem Hubschrauber sind völlig anders als die eines Flugzeugs. Der sich drehende Hauptrotor an der Oberseite eines Hubschraubers wirkt wie ein überdimensionaler Kreisel. Als solcher gehorcht der Hauptrotor den physikalischen Kreiselgesetzen, die auf intuitivem Weg nicht leicht zu erfassen sind. Um sich ins Gedächtnis zu rufen, wie Kreisel arbeiten, kann eine Faustregel hilfreich sein: Eine auf einen sich drehenden Kreisel aufgebrauchte Kraft erzeugt eine Bewegung, die in Drehrichtung nach 90° erfolgt. Wenn z.B. wie in [Fig. 4](#) gezeigt eine "aerodynamische Kraft" **13a** auf das sich in Drehrichtung **12** schnell drehende Rotorblatt **8a** aufgebracht wird, schlägt es, da es den Kreiselgesetzen gehorcht, nach einer 90° -Bewegung in Drehrichtung **12** bei **14a** nach oben aus. Desgleichen schlägt das Rotorblatt **8b**, wenn eine andere aerodynamische Kraft **13b** auf das Rotorblatt **8b** ausgeübt wird, wie dies auch in [Fig. 4](#) gezeigt ist, nach einer 90° -Bewegung in Drehrichtung **12** bei **14b** nach unten aus. Dieses Ausschlagen nimmt ein Beobachter als Verkippen der gesamten Hauptrotor-"Scheibe" wahr. (Wenn sich ein Rotor mit hoher Drehzahl dreht, ist es für einen Betrachter schwierig, einzelne Rotorblätter wahrzunehmen; der Rotor erscheint als transparente Scheibe. Infolgedessen wird ein sich drehender Rotor typischerweise als Rotorscheibe bezeichnet). Fachleuten ist es klar, dass eine aerodynamische Kraft wie **13a** oder **13b** entweder (1) eine externe Kraft sein kann, die durch unvorhergesehene Windböen oder andere Umweltfaktoren erzeugt wurde, oder (2) eine Kraft, die durch eine geplante Änderung der Neigung eines einzelnen, vom Hubschrauberpiloten gesteuerten Rotorblatts sein kann.

[0049] Herkömmlicherweise steuert der Pilot eines in Normalgröße ausgebildeten Hubschraubers den Hauptrotor, indem er einen als "zyklische Steuerung" bezeichneten Joystick betätigt, der sich vor dem Piloten befindet, und einen als "kollektive Steuerung" bezeichneten Hebel, der links vom Piloten angeordnet ist. Über Seile, Schub-/Zugstangen und Winkelhebel sind die zyklische und kollektive Steuerung über die Taumelscheibe mit den Neigungssteuerungen der Hauptrotorblätter verbunden.

[0050] Hauptrotorsysteme der meisten ferngesteuerten Modellhubschrauber arbeiten in einer Art und Weise, die derjenigen von Hubschraubern in voller Größe recht ähnlich ist. Der Pilot betätigt kleine Joysticks an einem in der Hand gehaltenen Funksender, der wiederum Befehle an elektromechanische Servostellglieder sendet, die sich innerhalb des fliegenden Modells befinden. Durch Schub-/Zugstangen und Winkelhebel sind die Servostellglieder über die Taumelscheibe mit den Neigungssteuerungen der Hauptrotorblätter verbunden.

[0051] Um den Hubschrauber zur rechten oder linken Seite hin in Schräglage zu bringen, oder um ihn

nach vorne oder hinten zu bewegen, werden die sich drehenden Rotorblätter **8** nach oben angestellt, wenn sie eine Seite des Hubschraubers durchlaufen, und dann nach unten, wenn sie die andere Seite durchlaufen, und zwar in Entsprechung mit den technischen Gegebenheiten, die schematisch in [Fig. 4](#) gezeigt sind. Dies wird als "zyklisches" Anstellen bezeichnet, da sich die Rotorblätter zyklisch nach oben und unten bewegen, wenn sich der Rotor dreht. Der Unterschied im Auftrieb, der sich an jeder Seite des Hubschraubers ergibt, lässt die Hauptrotorblätter nach oben und unten schlagen, und die Rotorscheibe erscheint gekippt. Die gekippte Rotorscheibe erzeugt eine seitliche Schubkraft, welche dann den Hubschrauber in Richtung der Verkippung schiebt (z.B. in Richtung **36** in der in [Fig. 4](#) gezeigten schematischen Ansicht).

[0052] Die großen Abmessungen und die hohe Trägheitskraft von Hubschrauberrotoren bringen es mit sich, dass sie ihre Drehzahl nicht schnell ändern können. Aus diesem Grund sind sie üblicherweise dazu ausgelegt, dass sie über alle Flugbedingungen hinweg bei einer nahezu konstanten Drehzahl arbeiten. Zur Steuerung des Auftriebs des Hauptrotors werden die Hauptrotorblätter gemeinsam nach oben oder unten angestellt. Da sich alle Rotorblätter gemeinsam bewegen, wird dies als "kollektives" Anstellen bezeichnet. Die Änderung der Neigung bzw. des Anstellwinkels und der damit zusammenhängenden Auftriebskraft der sich drehenden Hauptrotorblätter lässt den Hubschrauber an Höhe gewinnen oder verlieren.

[0053] Zur Höhensteuerung beruhen einige kleine Modellhubschrauber auf einer veränderbaren Motordrehzahl anstelle einer kollektiven Blattneigung, da der Schub des Hauptrotors proportional zur Motordrehzahl und auch zur Blattneigung ist. Die Hauptrotorblätter an diesen Modellen sind typischerweise mit einer festen Neigung (relativ zueinander) montiert und sind leicht genug, um auf Veränderungen der Motordrehzahl schnell zu reagieren. Der Hauptvorteil von an Modellen befindlichen Rotoren mit fester (unveränderlicher) Neigung ist die verringerte mechanische Komplexität. Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist dem Bereich unveränderlicher Neigung zuzuordnen, lässt sich aber auf Rotoren mit kollektiver Neigungssteuerung ausweiten.

[0054] Bei kleinen Hubschraubern stellt die Flugstabilität oft ein Problem dar. Zur Erhöhung der Stabilität sind in Modellhubschraubern üblicherweise gewichtsbelastete Stabilisatorstäbe eingebaut, die aber an modernen Hubschraubern in natürlicher Größe nicht üblich sind. Erstmals von Hiller im Jahre 1953 patentiert und zum Einsatz an Modellhubschraubern von Shlüter im Jahre 1970 weiterentwickelt, sind diese Flugstäbe mit aerodynamischen Flügeln (Hil-

ler-Flügel) bestückt, und über Gestängeteile mit der Taumelscheibe und den Hauptrotorblättern verbunden.

[0055] Hiller-Steuerungssysteme weisen systembedingt eine leichte Verzögerung bei der Steuerung auf. Ein als Bell/Hiller-System bezeichnetes Misch-Stabilisierungssystem sieht zusätzliche Gestängeteile vor, um die vom Piloten stammenden Steuerbefehle und die durch den Flugstab erfolgende Stabilisierung zu überlagern. Das Bell/Hiller-System reagiert schnell auf die vom Piloten ausgehende Steuerung, da Steuerbefehle direkt auf die Hauptrotorblätter übertragen werden, während das System mittels eines Flugstabs nach Hiller und Flügel stabilisiert ist.

[0056] Ein Hauptnachteil von Flugstäben und Flügeln liegt im erhöhten aerodynamischen Widerstand. Der Flugstab mit kreisförmigem Querschnitt, an dem Hiller-Flügel gehalten sind, kann einen Widerstand erzeugen, der genauso groß ist wie der von den Flügeln erzeugte oder noch höher. Darüber hinaus können Hiller-Flügel bezüglich der einlaufenden Luftströmung sogar unter einem negativen Anstellwinkel arbeiten, da sie typischerweise dazu ausgelegt sind, mit einem (geometrischen) Anstellwinkel von Null zu arbeiten und die durch den Rotor hindurchströmende Luft nahezu immer nach unten strömt. Auf diese Weise können Hiller-Flügel tatsächlich zu einem negativen Auftrieb beitragen, der in Entgegenwirkung zu dem positiven, vom Hauptrotor erzeugten Auftrieb den Hubschrauber nach unten zum Erdboden hin zu drücken versucht.

[0057] In einem für Hubschrauber gedachten Hauptrotorsystem gemäß der vorliegenden Erfindung bestehen einzigartige aerodynamische Verhältnisse und es kommen einzigartige Neigungs-, Schlag- und Schwenkgelenkkonfigurationen und -mechanismen zum Einsatz, durch welche die Stabilität, Haltbarkeit und Herstellbarkeit des Hauptrotorsystems beträchtlich verbessert werden. Um ein umfassendes Verständnis der Erfindung zu erlangen, ist es am einfachsten, bestimmte Elemente des Hauptrotorsystems getrennt vom System als Ganzes zu betrachten, wie sie in den [Fig. 5](#) bis [Fig. 17](#) gezeigt sind.

[0058] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und nunmehr mit Bezug auf [Fig. 5](#) ist eine Rotornaben-Baugruppe **77** gezeigt, welche die Mitte des Hauptrotors **1** bildet. Die Rotornaben-Baugruppe **77** ist in einer Position unterhalb der Hilfsrotorblätter **84** zwischen den Hauptrotorblättern **100** angebracht, wie am besten in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) zu sehen ist. Die Rotornaben-Baugruppe **77** umfasst eine Neigungsplatte **20**, eine Rotornabe **29** und einen Nachlaufarm **40**. Die Neigungsplatte **20** umfasst Neigungsarme **21** mit inneren und äußeren, zur Neigungsplatte gehörenden Z-Gelenkbohrungen

22 und **23**, Neigungszapfen-Durchgangsbohrungen **24**, Neigungsplatten-Schwenkbohrungen **26**, und eine Durchtrittsöffnung **25** für ein Verbindungsglied. Die Rotornabe **29** umfasst Nabenwippenstützen **30**, Nabenwippenzapfenbohrungen **31**, eine Nabenneigungszapfenbohrung **32**, Wellenbolzenbohrung **33**, Nabendrehzapfenbohrung **34** und eine Rotorwellenbohrung **35**, die an der Unterseite austritt. Der Nachlaufarm **40** umfasst Nachlauf-Drehzapfenbohrungen **41** für den Nachlaufdrehzapfen **42**, Nachlaufarm-Gelenkzapfenbohrungen **43** für den Nachlaufverbindungszapfen **44**, und ein Nachlaufkugelgelenk **45**. Das Nachlauf-Verbindungsglied **46** umfasst eine Nachlaufverbindungsmitglied-Zapfenbohrung **47** und eine Nachlaufverbindungsmitglied-Kugelaufnahme **48**.

[0059] Im zusammengebauten Zustand ist, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, die Neigungsplatte **20** durch die Rotornabe **29** schwenkbar gehalten und wird vom Neigungszapfen **51** zwangsweise um die Neigungsachse **50** in Drehung versetzt (Anm. d. Übers.: Neigungsplatte **20** wird durch den Neigungszapfen **51** zwangsweise mitgenommen, aber nicht um die Neigungsachse **50** in Drehung versetzt). Bei der Montage wird der Neigungszapfen **51** durch die Neigungszapfen-Durchgangsbohrungen **24** in der Neigungsplatte **20** geschoben und mit Kraft in die mit leichtem Untermaß ausgebildete Nabenneigungszapfenbohrung **32** in der Rotornabe **29** eingepresst. Der Neigungszapfen **51** erstreckt sich durch die Rotornabe **29**, bis er mit der in der Neigungsplatte **20** vorgesehenen Durchtrittsöffnung **25** für das Verbindungsglied bündig ist. Der Nachlaufarm **40** ist schwenkbar an der Rotornabe **29** angebracht und wird vom Nachlaufarm-Drehzapfen **42** zwangsweise um die Nachlaufarm-Schwenkachse **52** verschwenkt. Der Nachlaufarm-Drehzapfen **42** wird mit Kraft in die mit leichtem Untermaß ausgebildete Nabendrehzapfenbohrung **34** in der Rotornabe **29** eingepresst. In entsprechender Weise ist das Nachlauf-Verbindungsglied **46** in Wirkverbindung mit dem Nachlaufarm **40**, wobei sich der Nachlaufverbindungsmitglied-Zapfen **44** durch die Nachlauf-Drehzapfenbohrung **47** erstreckt.

[0060] Nunmehr ist mit Betrachtung der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) eine Wippe **63** schwenkbar an der Oberseite der Rotornabe **29** angebracht. Die Wippe **63** ist dazu vorgesehen, die Hilfsrotorblätter **84**, wie in [Fig. 10](#) gezeigt, zu halten. Die Wippe **63** ist so ausgebildet, dass sie eine Wippenzapfenbohrung **64**, Wippendurchgangsbohrungen **65** und Schraubenbohrungen **66** für den Abzweigarm der Wippe aufweisen, die so bemessen sind, dass sie Abzweigarmschrauben **67** aufnehmen können. Wie klar werden wird, bildet die Hilfsrotor-Neigungsachse **92** (siehe [Fig. 9](#)), sobald der Hilfsrotor **83** an der Wippe **63** angebracht ist, eine Linie, die durch die Wippendurchgangsbohrungen **65** hindurchläuft.

[0061] Die Blatthalter **55** sind an der Neigungsplatte

20 so vorgesehen, dass sie die Hauptrotorblätter **100** wie in [Fig. 19](#) gezeigt halten. Mit Bezug auf die [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) umfassen die Blatthalter **55** obere und untere Haltefinger **56**, eine Schlagbegrenzungslasche **59**, Blatthalter-Schwenkgelenkbohrungen **57**, die eine Schwenkgelenkachse **60** definieren, und Blatthalter-Schlagbohrungen **58**, die eine Schlagachse **61** definieren. Die Blatthalter **55** sind an der Neigungsplatte **20** mittels Schwenkgelenkschrauben **80** befestigt, die sich durch die Blatthalter-Schwenkgelenkbohrungen **57** erstrecken und dort gegen Drehung gesichert sind, und sich in den Neigungsplatten-Schwenkbohrungen **26** frei drehen.

[0062] An der Wippe **63** sind, wie in [Fig. 8](#) gezeigt ist, zwei Abzweigarme **68** angebracht, und jeder Abzweigarm **68** ist so ausgebildet, dass er eine Abzweigarm-Schraubenbohrung **69**, eine Bohrung **72** für das Verbindungsglied zwischen Abzweigarm und Taumelscheibe, und am Abzweigarm vorgesehene, innere und äußere Z-Gelenkbohrungen **70** und **71** für neuartige Z-Gelenke **74** aufweist. Taumelscheiben-Verbindungsglieder **73** enden in Kugelaufnahmen **75** für das Verbindungsglied zur Taumelscheibe und einem Taumelscheiben-Gelenkbogenstab **76**. Die Abzweigarme **68** sind an der Wippe **63** mittels Abzweigarmschrauben **67** schwenkbar befestigt, die sich durch Abzweigarm-Schraubenbohrungen **69** erstrecken und in Schraubenbohrungen **66** für den Abzweigarm der Wippe gegen Drehung gesichert befestigt sind. Über Nabenwippenstützen **30** ist die Wippe **63** schwenkbar gehalten und wird von dem Wippenzapfen **81** um die Wippenachse **82** zwangsweise in Drehung versetzt, wenn der Wippenzapfen **81** in die Nabenwippenzapfenbohrungen **31** in den Nabenwippenstützen **30** eingeschoben und mit Kraft durch die mit leichtem Untermaß ausgebildete Wippenzapfenbohrung **64** in der Wippe **63** eingepresst ist. Für einen standardmäßigen Steuerungseinfluss stehen die Z-Gelenke **74** in Wirkverbindung mit den äußeren Z-Gelenkbohrungen **71** am Abzweigarm und den äußeren Z-Gelenkbohrungen **23** an der Neigungsplatte, oder für einen verstärkten Steuerungseinfluss stehen sie in Wirkverbindung mit den inneren Z-Gelenkbohrungen **70** am Abzweigarm und den äußeren Z-Gelenkbohrungen **22** an der Neigungsplatte. Vorteilhafterweise sind die neuartigen Z-Gelenke **74** sehr viel kostengünstiger und kompakter als herkömmliche Kugelgelenke, die bei den meisten Hauptrotorsystemen verwendet werden.

[0063] Mit nunmehrigem Bezug auf [Fig. 9](#) umfasst der Hilfsrotor **83** Hilfsrotorblätter **84**, die mit einem Tragflächenprofil versehen sind und über Ansätze **86** am Hilfsrotorblatt **84** mit einer Hilfsrotorkappe **85** verbunden sind. Die Hilfsrotorblätter **84** werden im Allgemeinen auf einen positiven Anstellwinkel geneigt und erstrecken sich im Wesentlichen von den Spitzen des Hilfsrotors **83** nach innen. In der bevorzugten Ausführungsform sind die Hilfsrotorblätter **84** um 8 bis 15°

nach oben angestellt. Durchgangsbohrungen **89** für einen Hilfsrotorstab laufen vollständig durch die Hilfsrotorblätter **84** und die Hilfsrotorkappe **85** hindurch und überschneiden sich mit Hilfsrotor-Gewichtskörperbohrungen **90** in jedem Hilfsrotorblatt **84**. Ein Hilfsrotor-Neigungsarm **88** ist fest mit einem Ansatz **86** des Hilfsrotorblatts verbunden und endet in einem Hilfsrotor-Kugelgelenk **87**. Unter abgewinkelten Spitzen **91** des Hilfsrotors verbergen sich Ausbauchungen, die Hilfsrotor-Gewichtskörperbohrungen **90** enthalten. Ein Hilfsrotor-Neigungsverbindungsmitglied **96** endet in Kugelaufnahmen **97** für das Hilfsrotor-Neigungsverstellglied.

[0064] In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden durch die entlang der Sehne zu betrachtende Lage der Hilfsrotor-Durchgangsbohrung **89** die Hilfsrotorblätter **84** geometrisch gesehen so geteilt, dass weniger als 25 % der Oberfläche der Hilfsrotorblätter **84** vor der Hilfsrotor-Neigungsachse **92** liegen. Der Hilfsrotor **83** neigt daher dazu, neigungskonvergent zu sein und unempfindlich gegenüber Gestängespiel.

[0065] Wie in den [Fig. 7](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) gezeigt ist, ist der Hilfsrotor **83** durch die Wippe **63** schwenkbar gehalten und wird von dem Hilfsrotorstab **93** zwangsweise um die Hilfsrotor-Neigungsachse **92** (definiert durch die Wippendurchgangsbohrungen **65**) in Drehung versetzt, wenn der Hilfsrotorstab **93** durch die Hilfsrotorstab-Durchgangsbohrungen **89** im Hilfsrotor **83** und die Wippendurchgangsbohrungen **65** in der Wippe **63** eingeschoben ist. Der Hilfsrotorstab **93** ist innerhalb des Hilfsrotors **83** und der Wippe **63** durch Hilfsrotor-Gewichtsschrauben **94** eingeschlossen, die in die Hilfsrotor-Gewichtskörperbohrungen **90** eingeschraubt werden und die Hilfsrotorstab-Durchgangsbohrungen **89** verschließen. Die Hilfsrotor-Gewichtsschrauben **94** dienen auch dazu, die Kreiselstabilität des Hilfsrotors **83** zu erhöhen. Der Hilfsrotor **83** steht mit dem Nachlaufarm **40** über das Neigungsverstellglied **96** in Wirkverbindung, welches durch die Durchtrittsöffnung **25** für das Verbindungsglied in der Neigungsplatte **20** hindurchläuft. Wie im Schnitt in [Fig. 19](#) gezeigt ist, hat die Hilfsrotorkappe **85** unterseitig eine allgemein konkave Fläche **95**, um ein Anstoßen an den Nabenwippenstützen **30** zu verhindern.

[0066] Fortfahrend mit [Fig. 11](#), haben die Rotorblätter **100** eine C-förmige Blattwurzel **101** mit einer Schlaghalterung **102**, und sind an den Blatthaltern **55** mit Schlagschrauben **109** schwenkbar befestigt, die sich durch Blattwurzel-Schlagbohrungen **108** hindurch erstrecken und sich frei in diesen drehen, und sind in Blatthalter-Schlagbohrungen **58** gegen Verdrehen gesichert. Die Schlagbewegung des Rotorblatts **100** ist durch eine Schlagbegrenzungsflasche **59** am Blatthalter **55** begrenzt, welche Schlagbegrenzungsflasche an der oberen und unteren Fläche der

Schlaghalterung **102** anstößt.

[0067] Die [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) zeigen einen oberen Lagerblock **141** und einen unteren Lagerblock **156** mit Lagerblock-Mutternausparungen **160**, sowie mit Lagerausparungen **158** an der Unterseite des oberen Lagerblocks **141** und an der Oberseite des unteren Lagerblocks **156**, die Kugellagereinheiten **157** aufnehmen. Lagerhaltungsmanschetten **159** halten die Kugellagereinheiten **157** in den Lagerausparungen **158** und passen die Lager an die sich entlang der vertikalen Achse **9** erstreckende Rotorwelle **110** an.

[0068] Nunmehr mit Bezug auf die [Fig. 5](#) und [Fig. 11](#) erstreckt sich die Rotorwelle **110** durch die Haltemanschetten **159** im oberen und unteren Lagerblock **141** bzw. **156**, läuft in die Wellenbohrung **35** in der Rotornabe **29** und ist mit der Rotornabe **29** durch eine Rotornabenschraube **111** fest verbunden, die sich durch eine Wellenbolzenbohrung **33** und eine Welleneinkerbung **112** in eine Nabensicherungsmutter **113** erstreckt. Durch eine Drehung der Rotorwelle **110** um die Wellenachse **9** in Drehrichtung **12** des Rotors (z.B. durch einen Motor **3** innerhalb des Rumpfs **4** des Hubschraubers **15**) werden die Rotornabe **29** und alle damit verbundenen Elemente des Hauptrotors in Drehung versetzt.

[0069] Wie in den [Fig. 7](#), [Fig. 11](#) und [Fig. 13](#) gezeigt ist, können die Schwenkgelenkachse **60** und die Schlagachse **61**, die den Blatthalter **55** durchlaufen, auf Winkel eingestellt werden, die sich von 90° unterscheiden, wodurch eine beliebige Neigung des Rotorblatts **100** festgelegt werden kann. Eine kollektive Blattneigung wird eingestellt, indem man per Hand Blatthalter mit verschiedenen, durch die Konstruktion vorgegebenen Neigungswinkeln austauscht.

[0070] Um den Hauptrotor zu steuern, werden die vom Piloten stammenden Befehle über eine Taumelscheibe **140** übertragen, die z.B. in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#), [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) gezeigt ist. Wie in [Fig. 14](#) gezeigt ist, umfasst die Taumelscheibe **140** der vorliegenden Erfindung Taumelscheibenarme **115**, eine Innenlaufringhülse **121**, einen Laufring **130**, mehrere Kugellagerkugeln **135**, eine Außenlaufringkappe **134**, Taumelscheiben-Gelenkkugeln **136** und Laufring-Sicherungsschrauben **137**. In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Innenlaufringhülse **121**, der Laufring **130** und die Außenlaufringkappe **134** aus einer Aluminiumlegierung hergestellt.

[0071] Die Taumelscheibenarme **115** umfassen Schwenkarme **116** für die zyklische Steuerung, die in schwenkbaren Kugelgelenken **118** enden, einen Rollarm **117**, der in einem Rollkugelgelenk **119** endet, und eine Kontrollstift-Durchgangsbohrung **120**. Die Innenlaufringhülse **121** hat eine über den Umfang laufende, Innenlaufringnut **122**, die die Lagerkugeln

135 aufnimmt, und ein Rändelmuster **123** an ihrer Außenseite, ist allgemein zylindrisch und innenseitig mit einer halbkugelförmigen Oberseite **124** versehen. Der Laufring **130** umfasst mehrere Sicherungsbohrungen **131** und eine Ringkerbe **133**, und ist über den Außenumfang mit einem Gewinde versehen. Die Oberseite **132** des Laufrings hat eine solche Kontur, dass sie den unteren Teil des Außenlaufrings bildet. Die Außenlaufringkappe **134** hat mehrere Gewindebohrungen **139** und ist innenseitig mit solch einer Kontur versehen, dass sie den oberen Teil des Außenlaufrings bildet; sie ist über den Innenumfang mit einem Gewinde versehen.

[0072] Mit Bezug auf die [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) sind bei der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Taumelscheibenarme **115** aus einem Kunststoffmaterial wie etwa Nylon gefertigt und sind direkt um das Rändelmuster **123** gespritzt und dadurch dauerhaft an der Innenlaufringhülse **121** befestigt.

[0073] Zum Zusammenbau der Taumelscheibe **140** wird der Laufring **130** über die Innenlaufringhülse **121** und den durch die Innenlaufringnut **122** gebildeten, kreisringförmigen Bereich geschoben, und die Oberseite **132** des Laufrings wird mit mehreren Lagerkugeln **135** gefüllt. Alternativ kann man für die mehreren Lagerkugeln **135** eine einzige Kugellagerbaugruppe hernehmen. Die Außenlaufringkappe **134** wird auf den Laufring **130** aufgeschraubt und das Innengewinde der Außenlaufringkappe **134** gelangt mit dem Außengewinde des Laufrings **130** in Eingriff. Der Kontrollstift **138** wird vorübergehend in die Kontrollstift-Durchgangsbohrung **120** eingeführt, um in die Ringkerbe **133** einzugreifen und dadurch ein Verdrehen des Laufrings **130** bei der Montage zu verhindern. Der Laufring **130** und die Außenlaufringkappe **134** werden so eingestellt, dass ein leichtes Abwälzen der Lagerkugeln **135** gewährleistet ist. Die Laufring-Sicherungsschrauben **137** werden durch die Taumelscheiben-Gelenkkugeln **136** und die Gewindebohrungen **139** eingeführt, so dass sie in die Sicherungsbohrungen **131** eingreifen und dadurch den Laufring **130** gegenüber einer Verdrehung der Außenlaufringkappe **134** festsetzen. Einstellungen bezüglich normalen Verschleißes werden vorgenommen, indem die Laufring-Sicherungsschrauben **137** entfernt und der Laufring **130** und die Außenlaufringkappe **134** nochmals eingestellt werden. Der in [Fig. 18](#) dargestellte aufgebrochene Abschnitt der Taumelscheibe **140** zeigt die Lage der Kontrollstift-Durchgangsbohrung **120** in Bezug auf den Laufring **130**. Die Taumelscheibe **140** kann in jeder Anwendung zum Einsatz kommen, wo eine kompakte, wirtschaftliche und einstellbare Kugellagerbaugruppe vorteilhaft wäre.

[0074] In [Fig. 16](#) umfasst der obere Lagerblock **141** einen Drehzapfen **145** des Niederhaltearms und eine

im Allgemeinen zylindrische, hohle Taumelscheibenstange **142**, die in einer Taumelscheiben-Gelenkkugel **143** endet. Der Niederhaltearm **146** der Taumelscheibe hat Gelenkbohrungen **147** für die zyklische Steuerung, eine Drehzapfenbohrung **148** für den Niederhaltearm und eine Steuergelenkbohrung **149**. Einstellbare Verbindungsglieder **151** für die zyklische Steuerung enden in einer schwenkbaren Gelenkkugelaufnahme **152** und einem schwenkbaren Gelenkbogenstab **153**.

[0075] Nunmehr mit Bezug auf die [Fig. 14](#), [Fig. 16](#) und [Fig. 17](#) ist der Niederhaltearm **146** der Taumelscheibe schwenkbar am oberen Lagerblock **141** befestigt, und zwar mittels einer Schraube **150** des Niederhaltearms. Durch die Verbindungsglieder **151** für die zyklische Steuerung besteht eine Wirkverbindung zwischen der Taumelscheibe **140** und dem Niederhaltearm **146** der Taumelscheibe, und sie halten das halbkugelförmige Oberteil **124** der zur Taumelscheibe gehörigen Innenlaufringhülse **121** in Kontakt mit der Gelenkkugel **143**, wodurch die Taumelscheibe **140** am oberen Lagerblock **141** für eine allseitige Bewegung befestigt ist. Die Verbindungsglieder **151** für die zyklische Steuerung verhindern auch eine Drehung der Taumelscheibenarme **115** um die Wellenachse **9**.

[0076] Im Betrieb können die Gestängeteile für die Pilotensteuerung, die an den sich nicht drehenden Taumelscheibenarmen **115** am Rollkugelgelenk **119** und der Steuergelenkbohrung **149** befestigt sind, die Taumelscheibe **140** in beliebige Richtungen verkippen. Die Taumelscheibenkappe **134** dreht sich mit dem Hauptrotor **1** mit. Wenn die Taumelscheibe **140** durch vom Piloten ausgehende Steuerbefehle verkippt wird, übertragen das Hilfsrotor-Neigungsstellglied **96** und das Taumelscheiben-Verbindungsglied **73** die Befehle auf den Hilfsrotor **83** und die Hauptrotorblätter **100**. Die zyklische Neigungsstellung des Hilfsrotors **83** lässt diesen zyklisch um die Wippachse **82** schwenken. Die zyklische Schwenkbewegung des Hilfsrotors **83** wird durch den Abzweigarm **68**, das Z-Gelenk **74** und den Neigungsarm **21**, die alle miteinander verbunden sind, auf die Neigungsplatte **20** übertragen, wodurch die zyklische Neigungsverstellung der Rotorblätter **100** erfolgt.

[0077] Mit Bezug auf [Fig. 18](#) wird durch das Taumelscheiben-Verbindungsglied **73**, den Abzweigarm **68**, das Z-Gelenk **74** und den Neigungsarm **21**, die alle miteinander verbunden sind, jede Verkipfung der Taumelscheibe **140** in zyklischer Art und Weise auf die Neigungsplatte **20** und damit auf die Rotorblätter **100** übertragen. Wie in [Fig. 18](#) gezeigt ist, ist die Taumelscheibe **140** so verkippt, dass die Rotorblätter **100** um die Neigungsachse **5** schwenken und dadurch der Neigungswinkel **99** der Vorderkante **125** des Rotorblatts **100** auf einen positiven Anstellwinkel erhöht ist. Da zwischen der Taumelscheibe **140** und

der Neigungsplatte **20** zwei Gestängeverbindungswege existieren, ist ein Weg redundant. Diese beiden Gestängeverbindungswege können mit der Taumelscheibe **140** mechanisch belastet werden, indem sich das Taumelscheiben-Verbindungsglied **73** leicht in der Länge dehnt, wodurch das mechanische Spiel im Gestängesystem eliminiert wird. Im Hinblick auf eine annehmbare Flugleistung und zur Verhinderung des Verklemmens von Gestängeteilen ist eine richtige räumliche Lage aller Schwenkpunkte an den Verbindungsteilen in Bezug auf die Wippachse **82**, die Neigungsachse **50** und die Taumelscheibe **140** von wesentlicher Bedeutung. Da sich die Gestängeteile in einem Gestängeverbindungsweg aufgrund der Verkippung der Taumelscheibe **140** oder des Hilfsrotors **83** nach oben erstrecken, erstrecken sich die Gestängeteile im anderen Weg nach unten. Wenn sie nicht wohlüberlegt konstruiert sind, können Unterschiede in den Winkelbewegungen der Verbindungsglieder in einigen Fällen ernste Probleme bezüglich Verklemmung verursachen.

[0078] Die folgenden Abmessungen von Verbindungsgliedern, die als Abmessungen zwischen ausgewählten Schwenkpunkten zur Verfügung gestellt werden, bieten eine ausgewogene Lösung zwischen Steuerfähigkeit und Stabilität des Rotors bei gleichzeitig geringem Potential in Bezug auf das Verklemmen.

Vertikale Abstände:

Neigungsachse **50** bis Wippenachse **82** = 1,59 cm (0,625 Zoll).

Mittelpunkt der Taumelscheibe **140** bis Neigungsachse **50** = 4,13 cm (1,625 Zoll).

Horizontale Abstände:

Wellenachse **9** bis Taumelscheiben-Gelenkkugel **136** = 1,59 cm (0,625 Zoll).

Neigungsachse **50** bis zur äußeren Z-Gelenkbohrung an der Neigungsplatte = 2,18 cm (0,86 Zoll).

Neigungsachse **50** bis zur inneren Z-Gelenkbohrung an der Neigungsplatte = 1,93 cm (0,76 Zoll).

Wippenachse **82** bis Schraubenbohrung **66** für den Abzweigarm der Wippe = 3,49 cm (1,375 Zoll).

Bohrung **72** für das Verbindungsglied zwischen Abzweigarm und Taumelscheibe bis zur Schraubenbohrung **69** für den Abzweigarm der Wippe = 2,22 cm (0,875 Zoll).

Innere Z-Gelenkbohrung **70** am Abzweigarm bis zur Schraubenbohrung **69** für den Abzweigarm der Wippe = 1,74 cm (0,685 Zoll).

Äußere Z-Gelenkbohrung **71** am Abzweigarm bis zur Schraubenbohrung **69** für den Abzweigarm der Wippe = 1,45 cm (0,57 Zoll).

[0079] Wie in [Fig. 19](#) zu sehen ist, wird durch das Nachlaufverbindungsglied **46**, den Nachlaufarm **40**

und das Hilfsrotor-Neigungsverstellglied **96**, die miteinander verbunden sind, jegliche Verkippung der Taumelscheibe **140** in zyklischer An und Weise auf den Hilfsrotor **83** übertragen, wodurch dieser zur zyklischen Neigungsverstellung veranlasst wird. Eine ungleiche Anordnung des Nachlaufkugelgelenks **45** und der Nachlaufarm-Gelenkzapfenbohrung **43** gegenüber der Nachlaufarm-Drehzapfenbohrung **41** verstärkt den Winkelversatz der Taumelscheibe **140**.

[0080] Die Rotorblätter **100** der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beinhalten viele fortschrittliche Merkmale. Wie in [Fig. 19](#) im Schnitt gezeigt ist, ist die untere Fläche **126** der Schlaghalterung **102** geringfügig kürzer als die obere Fläche **127**, so dass durch eine auf das Blatt **100** aufgebrauchte, übermäßig große Schlagkraft, wie sie durch Kontakt mit dem Erdboden bei einer Bruchlandung verursacht werden kann, die Schlagbegrenzungsflasche **59** am Blatthalter **55** aus der Schlaghalterung **102** in der C-förmigen Blattwurzel **101** herausrutschen kann, so dass das Rotorblatt **100** um 90° oder mehr um die Schlag- oder Klappachse **61** um einen Klappwinkel **198** nach oben klappen kann, wie in

[0081] [Fig. 1](#) in unterbrochener Linie dargestellt ist, wodurch die Kräfte minimiert sind, die auf den Rest des Rotorkopfs übertragen werden. Es ist festzuhalten, dass die Schlagbegrenzungsflasche **59** alternativ am Rotorblatt **100** sitzen kann, und dann die Schlaghalterung **102** am Blatthalter **55** angeordnet ist.

[0082] Wie Fachleuten klar sein wird, sind die tatsächlichen Schlagwinkel, um die das Rotorblatt **100** innerhalb der mechanisch festgelegten oberen und unteren Schlaggrenze schwenken kann, von den aerodynamischen Kräften und den Kreiselkräften bestimmt, die während des Flugs auftauchen.

[0083] Rotoren von Modellhubschraubern arbeiten in einem niedrigen Drehzahlbereich, wo der aerodynamische, von der Dicke des Rotorblatts herrührende Widerstand sehr wichtig wird. Die Profildicke wird üblicherweise als Prozentsatz der Länge des Profils ausgedrückt. Wie in [Fig. 20](#) gezeigt ist, beträgt eine Profildicke **170** eines typischen Rotorblattprofils **172** 12 % der Länge **171** des Profils. Deshalb beträgt die Dicke des Profils **172** am Tragflächenquerschnitt 12 %.

[0084] Unter Betrachtung der [Fig. 21a](#) -g sind die Tragflächenquerschnitte **103**, **104**, **105**, **106** und **107** eines Rotorblatts **100** so gewählt, dass sie so dünn wie möglich sind, um den Luftwiderstand zu minimieren, und sind wie im Querschnitt gezeigt gekrümmt (gewölbt), um den Auftrieb zu erhöhen. In der bevorzugten Ausführungsform beträgt die Dicke des Tragflächenquerschnitts bei **104** 5,7 %, bei **105** 4,7 %, bei **106** 3,4 % und bei **107** 4,1 %. Der Hauptteil des Rotorblatts **100** verjüngt sich, und das Blatt ist eines hö-

heren aerodynamischen Wirkungsgrads wegen von der Wurzel bis zur Spitze um 10° verwunden, wie in [Fig. 21a-g](#) gezeigt ist. Der Schwerpunkt CG (center-of-gravity) **114** des Rotorblatts liegt ungefähr bei 43 % hinter der Vorderkante **125**. Eine Kegelbildung des Hauptrotors (wenn alle Blätter gleichzeitig nach oben klappen) bringt eine Tendenz dahingehend, den Schwerpunkt der Rotorblätter über die Drehebene hinaus zu erheben. Zentrifugale Rückstellkräfte, die durch den Schwerpunkt jedes Rotorblattschnitts wirken, erzeugen ein Neigungsmoment, das dazu beiträgt, das negative Neigungsmoment der gewölbten Tragflächenprofile auszugleichen.

[0085] Die Rotorblätter **100** sind in der Darstellung unterseitig gekrümmt und dünn (weniger als 8 %). Darüber hinaus ist, wie in den [Fig. 21a-g](#) gezeigt ist, jedes Rotorblatt **100** verwunden und verjüngt sich. In einer Modellhubschrauberanwendung werden solche Rotorblätter **100** an einem Rotorkopf mit unveränderlicher Neigung eingesetzt, wie er in den Patentzeichnungen gezeigt ist. Das Ergebnis ist ein mit niedrigem Moment ausgestattetes, gewölbtes Rotorblatt, das dahingehend wirkt, das Neigungsmoment des Tragflächenprofils auszugleichen. Eine Wölbung verleiht einen hohen Auftrieb – etwa 20 bis 30 % mehr als bei einem herkömmlichen Profil. Das Rotorblatt **100** ist so ausgelegt, dass sein Auftriebsmittelpunkt vor der Neigungsachse **50** liegt, um einem Abtauchmoment aufgrund der Wölbung (Krümmung) des Rotorblatts entgegenzuwirken. Dies stellt eine Maßnahme dar, um der Wölbung des Rotorblatts entgegenzuwirken, damit das Neigungsmoment des Profils ausgeglichen ist.

[0086] Die Rotorblätter **100** sind um eine Klappachse klappbar, und an der Wurzel des Rotorblatts **100** sind Laschen oder Anschläge vorgesehen, um das Schlagen zu begrenzen. Die Rotorblätter **100** werden vorzugsweise durch Spritzgießen hergestellt und sind flexibel, um so eine hohe Widerstandsfestigkeit gegenüber einer Beschädigung zu haben.

[0087] In der bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zum Einsatz an Modellhubschraubern sind das Rotorblatt **100** und die meisten Rotorkopfelemente mit Ausnahme von Befestigungsteilen, Zapfen und Stab- bzw. Drahtabschnitten von Verbindungsgliedern aus Kunststoffmaterial wie etwa Nylon geformt. Dieser Rotorkopf hat einen vielfach größeren aerodynamischen Wirkungsgrad, ist beständig, kostengünstiger und leichter herzustellen als irgendein derzeit erhältlicher Rotorkopf.

[0088] In den bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung hat der Hilfsrotor **83** Hilfsrotorblätter **84**, die kürzer als die Hauptrotorblätter **100** sind. Vorteilhafterweise ersetzen diese kürzeren Hilfsrotorblätter **84** die Hiller-Flügel zur Erhöhung der Stabilität und Steuerfähigkeit des Hubschraubers im

Flug (also Steuerung und Stabilisierung des Hauptrotors). Die verbesserten Hilfsrotorblätter **84** weisen Blattabschnitte auf, die sich von den Hilfsrotorspitzen im Wesentlichen nach innen erstrecken, verglichen mit Hiller-Flügeln, die rechteckig und so angeordnet sind, dass sie am Ende des Flugstabs liegen. Es sind dünne, schmale Blattansätze vorgesehen, um die Hilfsrotorblätter **84** an einem Schwenkstab zu halten. Wünschenswerterweise werden die Hilfsrotorblätter im Luftstrom nach oben angestellt, um einen zusätzlichen Auftrieb zu erzeugen oder die gegengerichtete Luftströmung in der Nähe der Nabe zu vermindern. Die Hilfsrotorblätter **84** sind mit Massekörpern an der Spitze jedes Blatts versehen, um das Kreiselmoment jedes Blatts zu erhöhen. Diese Massekörper an den Blättern fungieren auch dahingehend, den Drehzapfen des Hilfsrotors einzuschließen.

[0089] Ein weiterer Vorteil eines Hauptrotors gemäß der vorliegenden Erfindung ist das Vorsehen von Blatthaltern **55**. Diese Blatthalter **55** sind untereinander austauschbar und legen den relativen Winkel zwischen den Schlagachse und Schwenkgelenkachsen am Hauptrotor fest. Sie sind mit Laschen oder Halterungen versehen, um das Schlagen des Blattes zu begrenzen und weisen eine Schwenkgelenkachse auf, die weiter innen als die Schlagachse liegt.

[0090] Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung ist das Vorsehen von einfachen Steuergestängeteilen, die leicht herzustellen sind. Kugelgelenke in der Art, wie man sie an herkömmlichen Hubschraubern antrifft, sind nun durch Z-Gelenke oder L-Gelenke ersetzt, die eine Wirkverbindung zwischen der Taumelscheibe **140**, den Abzweigarmen und der Neigungsplatte **20** herstellen. Diese Steuergestängeteile bieten redundante Steuerpfade, die belastbar sind, um in einem System mit unveränderlichem Anstellwinkel das Steuerspiel zu eliminieren.

[0091] Sie umfassen auch mehrere Zapfenanbringungsorte an den Abzweigarmen für verschiedene Verhältnisse von Leistung zu Stabilität.

[0092] Die Taumelscheibe **140** gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst einstellbare Lagerlaufringe, wobei die einstellbaren Laufringe verschraubt werden können und Schraubensicherungen vorgesehen sind, um die Laufringe gegenüber einem Lösen der Verschraubung zu sichern. Wie dargestellt ist, sind die Taumelscheibenarme um die Innenlaufringhülse gespritzt. Auch eine Halterung für die Taumelscheibe ist vorgesehen. Die Innenlaufringhülse greift an der Taumelscheibenstange so an, dass eine allseitige Bewegung ermöglicht ist, und der Schaft der Taumelscheibe ist mit der Hauptstruktur des Hubschraubers verbunden. Verbindungsglieder für die zyklische Steuerung und Niederhaltearme für die Taumelscheibe befestigen die Taumelscheibe an der

Stange und verhindern eine Drehung um die Drehachse **9** des Hauptrotors. An den Taumelscheibenarmen ist eine Zapfenbohrung vorgesehen, und im Laufring ist eine Arretierung vorgesehen, um die Montage zu erleichtern.

[0093] Es werden alternative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung in Betracht gezogen, bei denen der Hilfsrotor **83** in zwei unabhängig voneinander verstellbare Hilfsrotorblätter geteilt ist. Mit Bezug auf [Fig. 22](#) umfasst der geteilte Hilfsrotor **173** geteilte Hilfsrotorblätter **174**, die schwenkbar an einer modifizierten Wippe **63** angreifen, wobei eine Verschwenkeinrichtung, ähnlich wie beim Hilfsrotor **83**, vorgesehen ist. Zwei Neigungsverstellglieder **96** erstrecken sich durch zwei Durchtrittsöffnungen **25** für jeweils ein Verbindungsglied und sind dazu vorgesehen, die geteilten Hilfsrotorblätter **174** unabhängig oder in Gleichklang sowohl für die zyklische als auch die kollektive Steuerung in der Neigung zu verstellen.

Patentansprüche

1. Hauptrotor (**1**) zur Verwendung bei einem Drehflügel-Modellflugzeug, wobei der Hauptrotor (**1**) eine Rotornaben-Baugruppe (**77**) mit einem um eine vertikale Achse (**9**) des Hauptrotors drehbaren Blatthalter (**55**) und ein Hauptrotorblatt (**100**) umfasst, das sich von der Rotornaben-Baugruppe (**77**) aus radial erstreckt und ein Blattspitzenende, das so positioniert ist, dass es von der Rotornaben-Baugruppe (**77**) beabstandet liegt, und ein Blattwurzelende (**101**) hat, das schwenk- und klappbar mit der Rotornaben-Baugruppe (**77**) gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Hauptrotor (**1**) zur Begrenzung von Schlagbewegungen des Rotorblattes (**100**) relativ zur Rotornaben-Baugruppe (**77**) ferner einen Schlagbegrenzungsmechanismus aufweist, der entweder eine Schlagbegrenzungsflasche (**59**) am Blatthalter (**55**), die in eine Schlagbegrenzungshalterung (**102**) am Rotorblatt (**100**) eingreift, oder eine Schlagbegrenzungsflasche (**59**) am Rotorblatt (**100**) aufweist, die in eine Schlagbegrenzungshalterung (**102**) am Blatthalter (**55**) eingreift, wodurch vom Rotorblatt (**100**) auf die Rotornabe (**29**) übertragene Kräfte, wie sie normalerweise während einer Bruchlandung des Drehflügel-Modellflugzeugs entstehen, bewirken, dass die Schlagbegrenzungsflasche (**59**) aus der Schlagbegrenzungshalterung (**102**) herausrutscht und das Rotorblatt (**100**) um eine horizontale Achse (**61**) um einen gewünschten Klappwinkel von etwa 90 Grad aus einer horizontalen, zur vertikalen Achse (**9**) des Hauptrotors im wesentlichen senkrechten Ausgangsausrichtung klappen kann.

2. Hauptrotor (**1**) nach Anspruch 1, bei dem die Rotornaben-Baugruppe (**77**) eine drehbare Rotornabe (**29**) sowie für jedes Hauptrotorblatt (**100**) einen

Blatthalter (**55**) aufweist, die Blatthalter (**55**) jeweils einen mit der Rotornabe (**29**) gekoppelten, um eine von der vertikalen Hauptachse (**9**) beabstandete, zu dieser parallele vertikale Hilfsachse schwenkbaren Innenabschnitt sowie einen Außenabschnitt haben und das Wurzelende (**101**) jedes Hauptrotorblattes (**100**) mit einem der Außenabschnitte um eine horizontale Achse relativ zu diesem schwenkbar gekoppelt ist.

3. Hauptrotor (**1**) nach Anspruch 2, bei dem die Blatthalter (**55**) jeweils einen Körperabschnitt und zwei Haltefinger (**56**) aufweisen, die am Körperabschnitt angesetzt und so angeordnet sind, dass sie voneinander beabstandet liegen und dazwischen einen Nabenaufnahmekanal bilden, ein Abschnitt der Rotornabe (**29**) sich in den in jedem Blatthalter (**55**) gebildeten Nabenaufnahmekanal erstreckt und ein Drehzapfen (**42**) mit den beiden Haltefingern (**56**) und dem in dem dazwischen ausgebildeten Nabenaufnahmekanal positionierten Außenabschnitt der Rotornabe (**29**) so gekoppelt ist, dass der Drehzapfen (**42**) in einer koextensiven Beziehung auf die vertikale Hilfsachse des dem Drehzapfen (**42**) zugeordneten Blatthalters (**55**) ausgerichtet ist.

4. Hauptrotor (**1**) nach Anspruch 3, bei dem die Hauptrotorblätter (**100**) jeweils einen Blattabschnitt aufweisen, der das Spitzenende und das Wurzelende (**101**) miteinander verbindet, das Wurzelende (**101**) ein C-förmiges Element ist, das derart ausgeführt ist, dass es zwei voneinander beabstandete Blattwurzel-Schlagbohrungen (**58**) aufweist, und jedes Hauptrotorblatt (**100**) ferner eine Schlagschraube (**109**) aufweist, die so positioniert ist, dass sie die beiden voneinander beabstandeten, in dem C-förmigen Element gebildeten Blattwurzel-Schlagbohrungen (**58**) durchquert.

5. Hauptrotor (**1**) nach Anspruch 1, bei dem die Blatthalter (**55**) jeweils eine Schlagbegrenzungsflasche (**59**) aufweisen, die Hauptrotorblätter (**100**) jeweils eine Schlaghalterung (**102**) aufweisen, die so positioniert ist, dass die Schlagbegrenzungsflasche (**59**) an einem Blatthalter (**55**) darin eingreift, die mit dem Hauptrotorblatt (**100**) gekoppelt und so ausgeführt ist, dass sie aus der Schlaghalterung (**102**) herausrutscht, wodurch das Hauptrotorblatt (**100**) um mindestens 90° um die horizontale Achse nach oben klappen kann und von den Hauptrotorblättern (**100**) auf die Rotornabe (**29**) übertragene Kräfte dadurch minimiert werden.

6. Hauptrotor (**1**) nach Anspruch 5, bei dem die Schlaghalterungen (**102**) jeweils eine Oberseite (**127**) und eine Unterseite (**126**) aufweisen, die so angeordnet sind, dass sie voneinander beabstandet liegen und dazwischen einen Kanal bilden, in dem die Schlagbegrenzungsflasche (**59**) aufgenommen ist, und die Unterseite (**126**) eine kürzere Länge als die

Oberseite (127) hat.

7. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Hauptrotorblätter (100) jeweils einen Blattabschnitt aufweisen, der das Spitzenende und das Wurzelende (101) miteinander verbindet, das Wurzelende (101) ein C-förmiges Element ist, das derart ausgeführt ist, dass es zwei voneinander beabstandete Blattwurzel-Schlagbohrungen (58) aufweist, und jedes Hauptrotorblatt (100) ferner eine Schlagschraube (109) aufweist, die so positioniert ist, dass sie die beiden voneinander beabstandeten, in dem C-förmigen Element gebildeten Blattwurzel-Schlagbohrungen (58) durchquert und mit der Rotornaben-Baugruppe (77) gekoppelt ist.

8. Hauptrotor (1) nach Anspruch 7, bei dem der Blattabschnitt jedes Hauptrotorblattes (100) einen gewölbten Querschnitt aufweist.

9. Hauptrotor (1) nach Anspruch 8, bei dem der Blattabschnitt jedes Hauptrotorblattes (100) vom Wurzelende (101) bis zum Spitzenende um 10° verwunden ist.

10. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Hauptrotorblätter (100) jeweils eine Vorderkante (125), die zwischen dem Spitzen- und dem Wurzelende (101) verläuft, und eine Hinterkante aufweisen, die zwischen dem Spitzen- und dem Wurzelende (101) verläuft und von der Vorderkante so beabstandet liegt, dass dazwischen eine Strecke hergestellt ist, und jedes Hauptrotorblatt (100) so ausgebildet ist, dass sein Schwerpunkt an einem Punkt von der Vorderkante (125) entfernt liegt, der auf etwa 43% der Strecke zwischen der Vorderkante (125) und der Hinterkante liegt.

11. Hauptrotor (1) nach Anspruch 10, bei dem der Blattabschnitt jedes Hauptrotorblattes (100) vom Wurzelende (101) bis zum Spitzenende um 10° verwunden ist.

12. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Hauptrotorblätter (100) jeweils aus Nylonkunststoff bestehen.

13. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Rotornaben-Baugruppe (77) eine Rotornabe (29), die so ausgebildet ist, dass sie eine Schlagbegrenzungs-lasche (59) aufweist, und Einrichtungen aufweist, mit denen jedes der Hauptrotorblätter (100) so an der Rotornabe (29) angebracht ist, dass es innerhalb eines Schlaggrenzbereichs relativ zur Rotornabe (29) um eine im wesentlichen horizontale Schlagachse (61) schlägt, die durch den Eingriff der Schlagbegrenzungs-lasche (59) und eines der Hauptrotorblätter (100) zwangsläufig nachgiebig ist, und um eine Klappachse um einen Klappwinkel außerhalb des Schlaggrenzbereichs nach oben klappt, wenn sich die

Schlagbegrenzungs-lasche (59) und das eine der Hauptrotorblätter (100) voneinander lösen.

14. Hauptrotor (1) nach Anspruch 13, bei dem das Rotorblatt (100) aus einer gewünschten Flugausrichtung, die im wesentlichen senkrecht zur Rotorwelle (110) ist, um den Klappwinkel in eine gewünschte Klappausrichtung geklappt werden kann, die im wesentlichen parallel zur Hauptrotorwelle (110) ist.

15. Hauptrotor (1) nach Anspruch 13, bei dem die Schlagachse (61) und die Klappachse zusammenfallen und eine einzige Schlag/Klappachse bilden.

16. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, der ferner eine Klappbegrenzungseinrichtung (59) aufweist, die die Klappbewegung des Rotorblattes (100) begrenzt, bis ein Sollbetrag einer Klappkraft auf das Rotorblatt (100) aufgebracht worden ist.

17. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Rotornaben-Baugruppe (77) eine drehbare Rotornabe (29) sowie für jedes Hauptrotorblatt (100) einen Blatthalter (55) aufweist, die Blatthalter (55) jeweils einen mit der Rotornabe (29) gekoppelten, um eine von der Rotordrehachse (9) beabstandete, zu dieser parallele, vertikale Hilfsachse schwenkbaren Innenabschnitt sowie einen Außenabschnitt haben und das Wurzelende (101) jedes Hauptrotorblattes (100) mit einem der Außenabschnitte um die Klappachse relativ zu diesem schwenkbar gekoppelt ist.

18. Hauptrotor (1) nach Anspruch 1, bei dem die Rotornaben-Baugruppe (77) eine Rotordrehachse (9), eine Rotornabe (29), die so gelagert ist, dass sie sich ansprechend auf die Betätigung einer Bordmotorantriebseinheit (3) um die Rotordrehachse (9) drehen kann, und eine Schwenkgelenkeinrichtung aufweist, mit der das Wurzelende (101) jedes Rotorblattes (100) schwenkbar so angebracht ist, dass es sich um eine vertikale Schwenkgelenkachse nach vorne oder nach hinten bewegt, so dass jedes Rotorblatt (100) in der Lage ist, um eine horizontale Schwenkachse zu schlagen.

19. Hauptrotor (1) nach Anspruch 18, der ferner eine Anstellwinkelverstelleinrichtung (140) umfasst, mit der jedes Rotorblatt (100) schwenkbar so an der Rotornabe (29) angebracht ist, dass es sich während der Drehung der Rotornabe (29) um die Rotordrehachse (9) um eine Neigungsachse neigt.

20. Hauptrotor (1) nach Anspruch 19, der ferner eine Einrichtung (55) zur kollektiven Blattverstellung zur Verstellung des kollektiven Anstellwinkels der Rotorblätter (100) relativ zur Anstellwinkelverstelleinrichtung umfasst.

21. Hauptrotor (1) nach Anspruch 20, bei dem die Einrichtung (55) zur kollektiven Blattverstellung eine Einrichtung zur Änderung des kollektiven Anstellwinkels der Rotorblätter (100) in vorbestimmten, diskreten, reproduzierbaren Inkrementen aufweist.

22. Hauptrotor (1) nach Anspruch 21, bei dem die Einrichtung (55) zur kollektiven Blattverstellung austauschbare Hauptrotorelemente umfasst, wobei die Hauptrotorelemente jeweils einen Eigenwinkel haben, der den Anstellwinkel eines Rotorblattes (100) so bestimmt, dass bei einem Ersetzen des Elements durch ein gleichartiges Element, das einen anderen Eigenwinkel bestimmt, der Anstellwinkel des Rotorblattes (100) relativ zur Anstellwinkelverstelleinrichtung neu festgelegt wird.

23. Hauptrotor (1) nach Anspruch 22, bei dem die austauschbaren Hauptrotorelemente Blatthalter (55) aufweisen, die den relativen Winkel zwischen den horizontalen Schlagachsen und den vertikalen Schwenkgelenkachsen derart bestimmen, dass durch ein Ersetzen der Blatthalter (55) der relative Winkel zwischen den horizontalen Schlagachsen und den vertikalen Schwenkgelenkachsen neu festgelegt wird, wodurch die kollektive Blattverstellung der Rotorblätter (100) relativ zur Anstellwinkelverstelleinrichtung eingestellt wird.

24. Hauptrotor (1) nach Anspruch 18, bei dem die Rotornaben-Baugruppe (77) eine drehbare Rotornabe (29) sowie für jeden Hauptrotorblatthalter (55) einen Blatthalter (55) aufweist, die Blatthalter (55) jeweils einen mit der Rotornabe (29) gekoppelten, um eine von der Rotordrehachse beabstandete, zu dieser parallele, vertikale Hilfsachse schwenkbaren Innenabschnitt sowie einen Außenabschnitt haben und das Wurzelende (101) jedes Hauptrotorblattes (100) mit einem der Außenabschnitte um die Klappachse relativ zu diesem schwenkbar gekoppelt ist.

25. Hauptrotor (1) nach Anspruch 22, bei dem die Rotorblätter (100) jeweils aus Nylonkunststoff bestehen, die Klappeinrichtung eine C-förmige Blattwurzel umfasst, die schwenkbar an einem Blatthalter (55) befestigt ist, die Blattverstelleinrichtung einen Blatthalter (55) aus Kunststoff umfasst, der den relativen Winkel zwischen der Schwenkgelenkachse und der Schlagachse des Rotorblattes (100) bestimmt, wobei der Blatthalter (55) eine Lasche hat, die zur Begrenzung von Schlagbewegungen des Rotorblattes (100) in eine Halterung in der C-förmigen Blattwurzel eingreifen kann, und die Schwenkgelenkeinrichtung einen mit der Anstellwinkelverstelleinrichtung schwenkbar verbundenen Blatthalter (55) umfasst.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

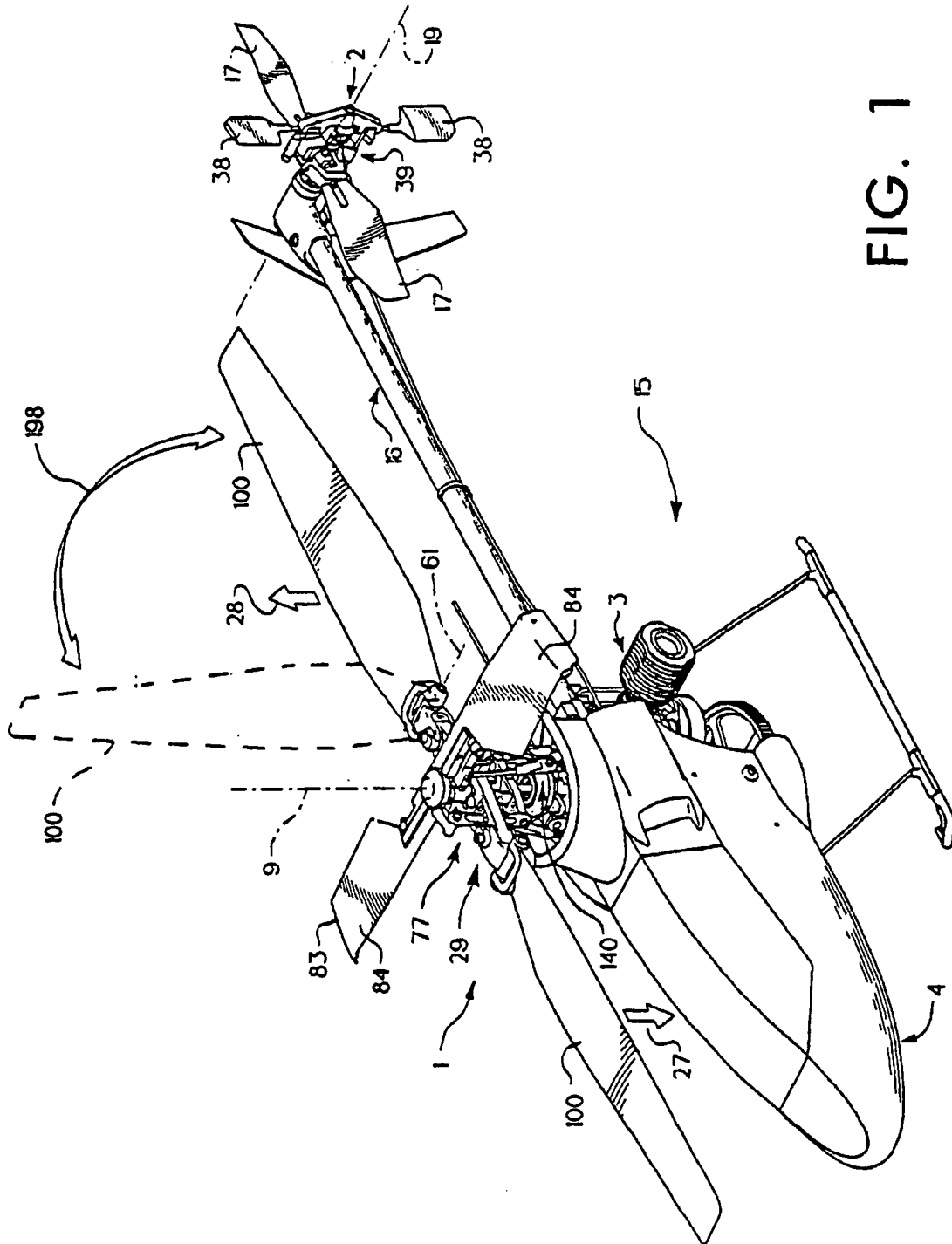


FIG. 1

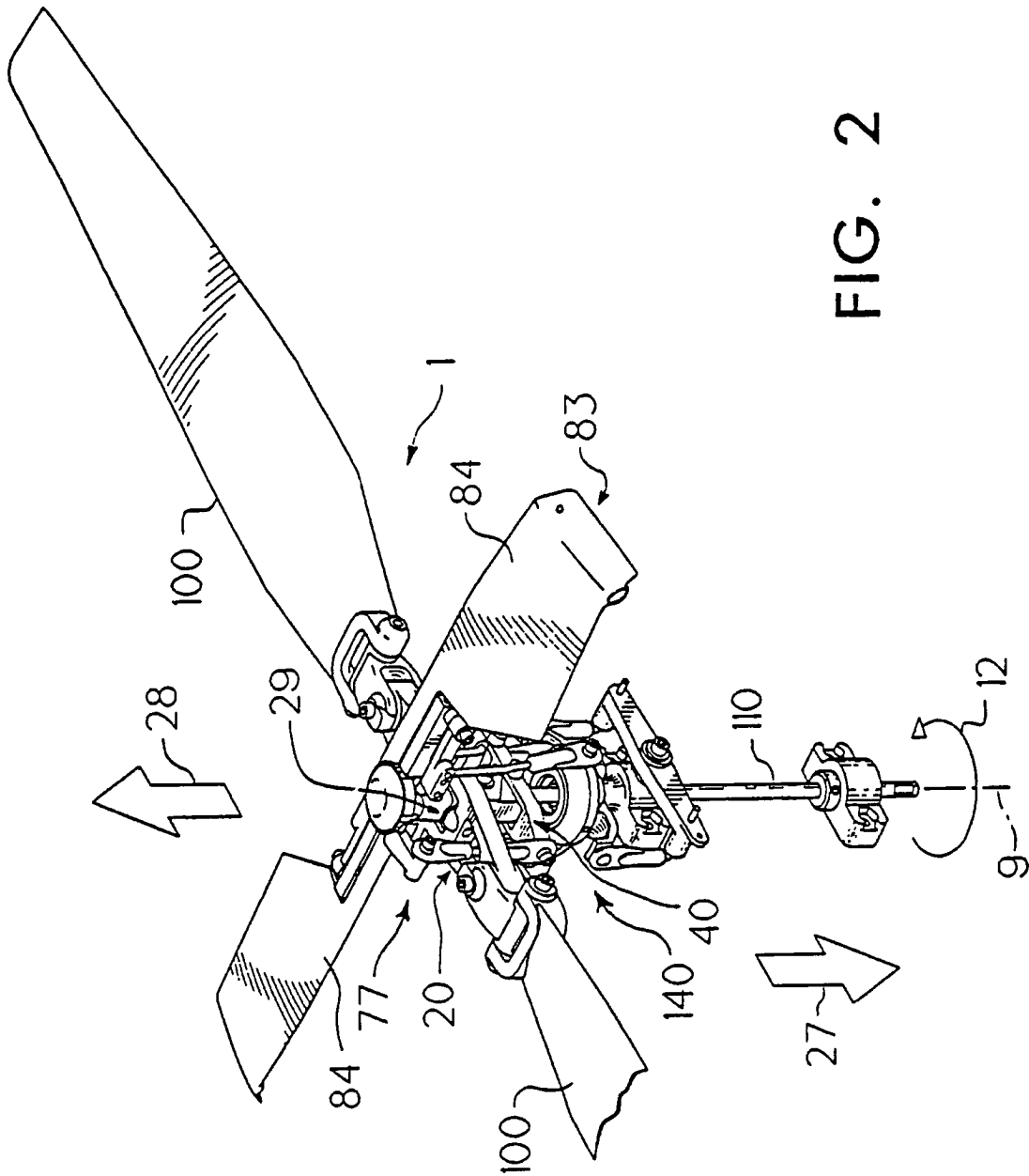


FIG. 2

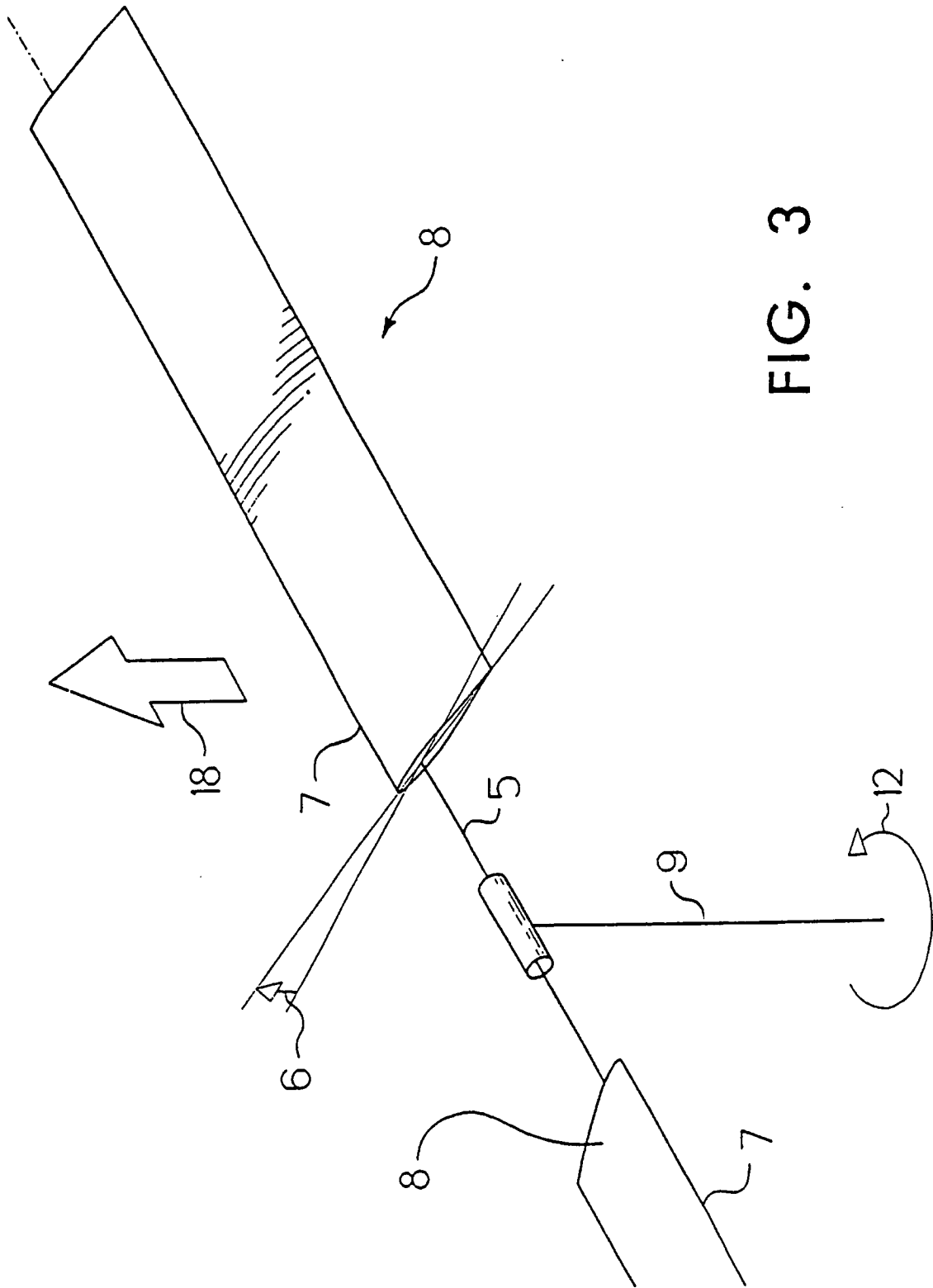


FIG. 3

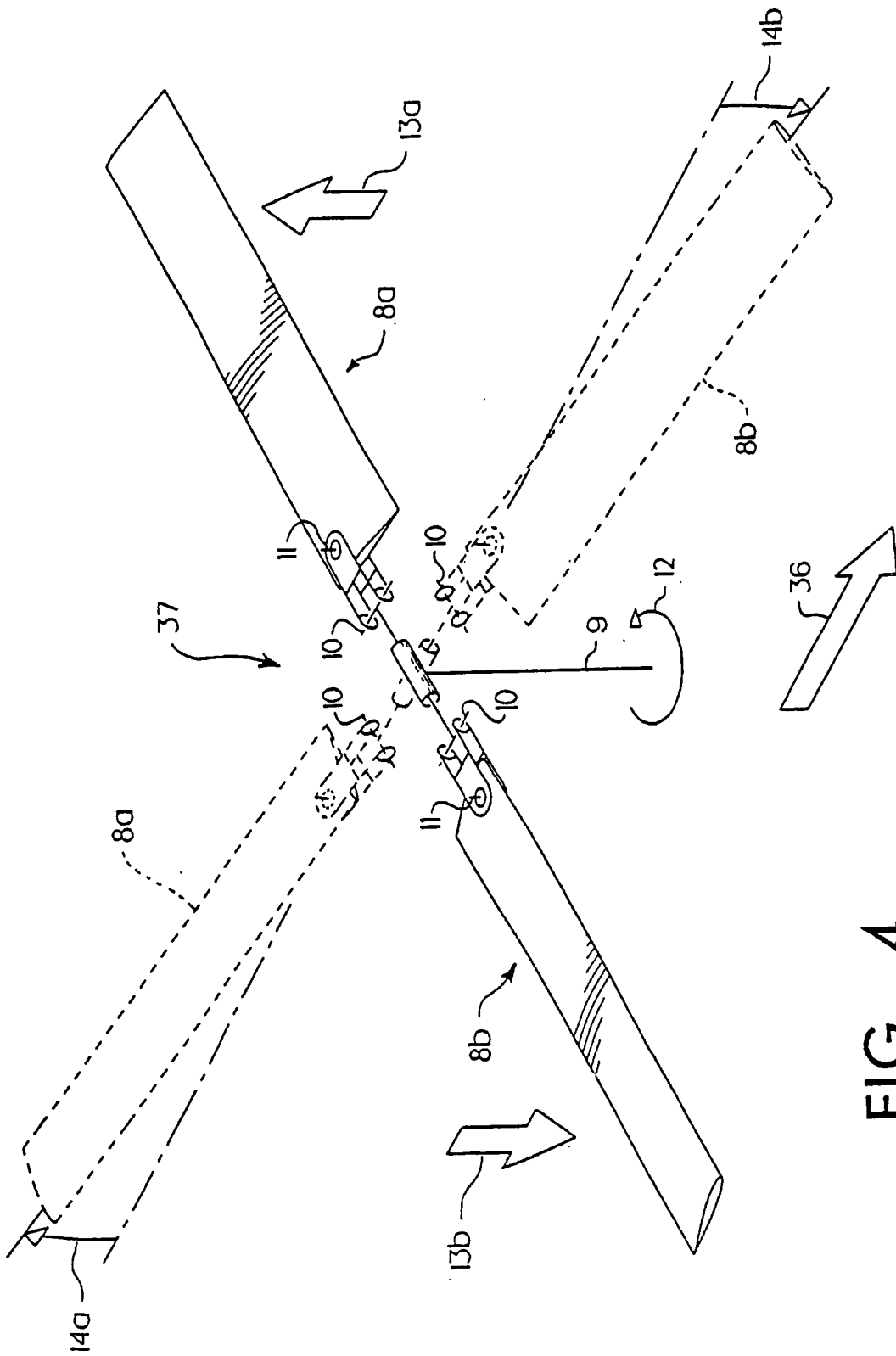


FIG. 4

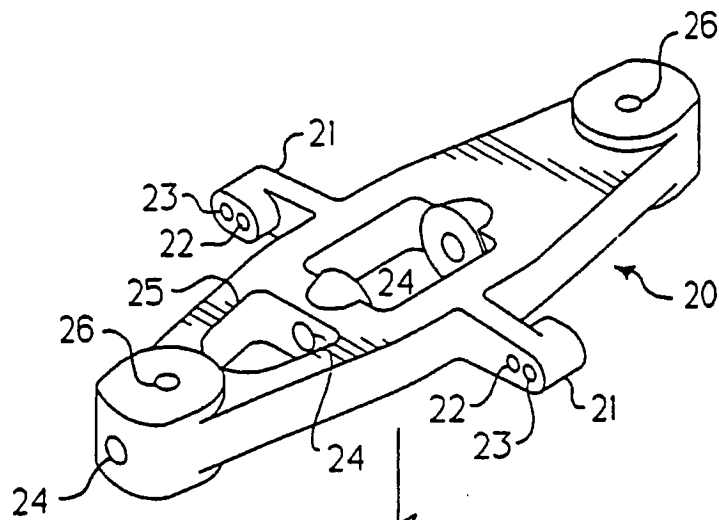
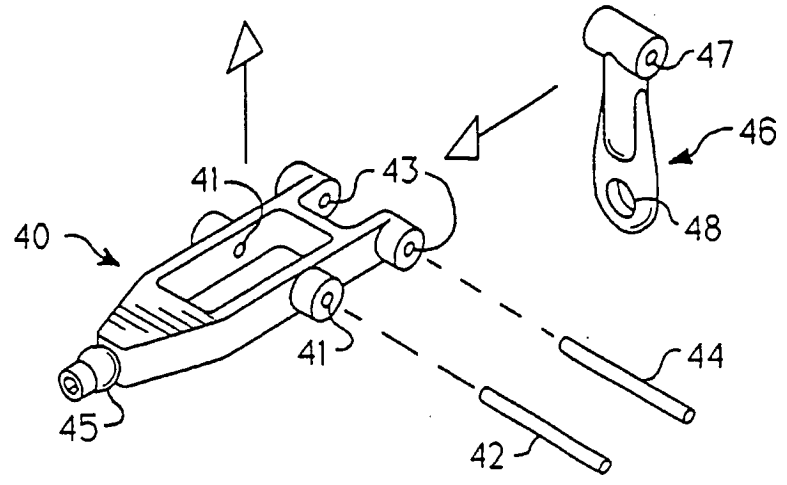
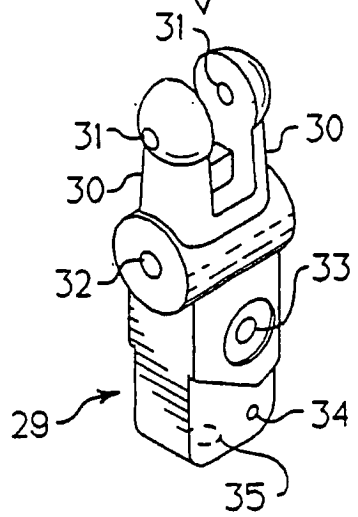


FIG. 5



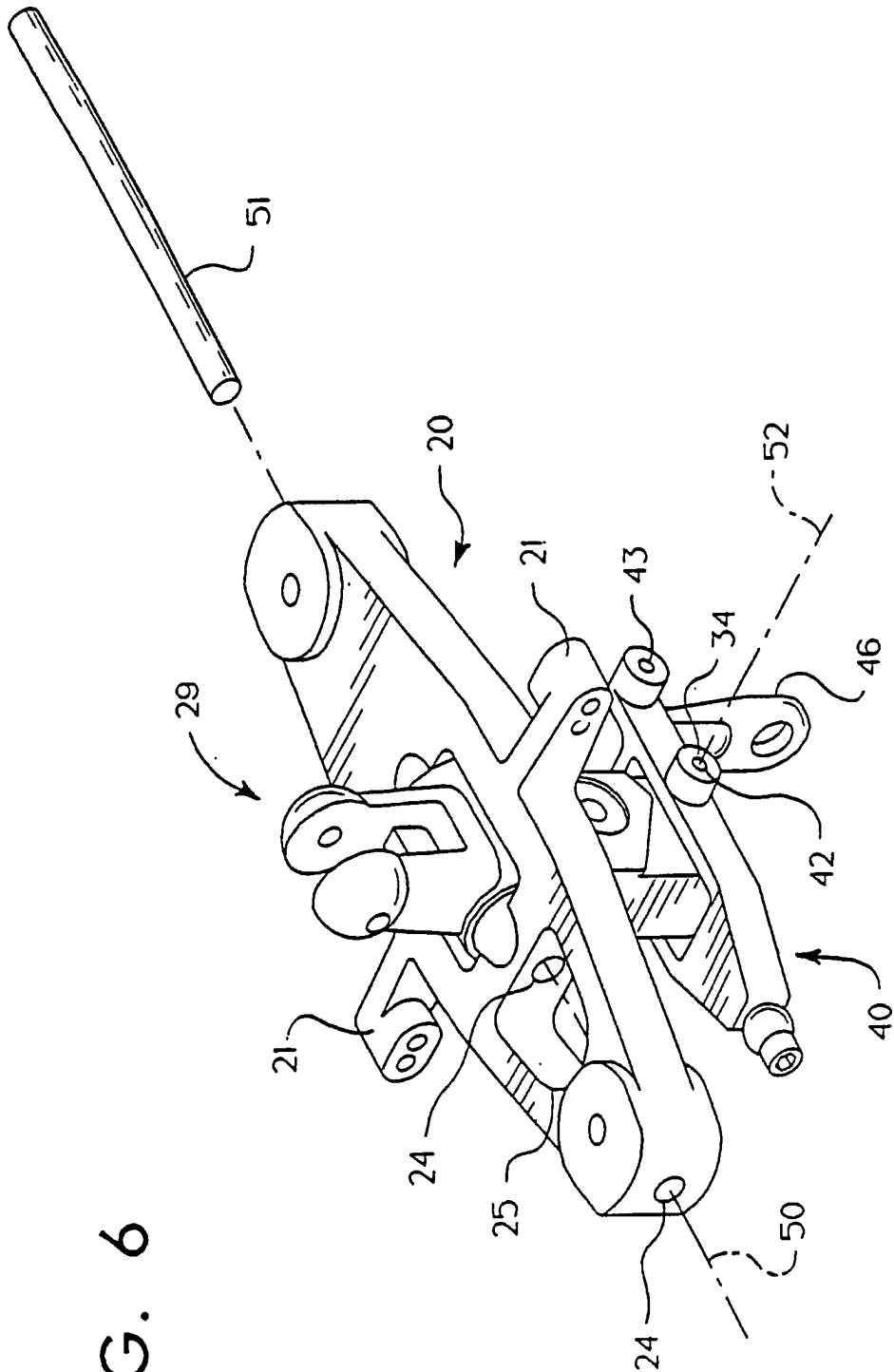


FIG. 6

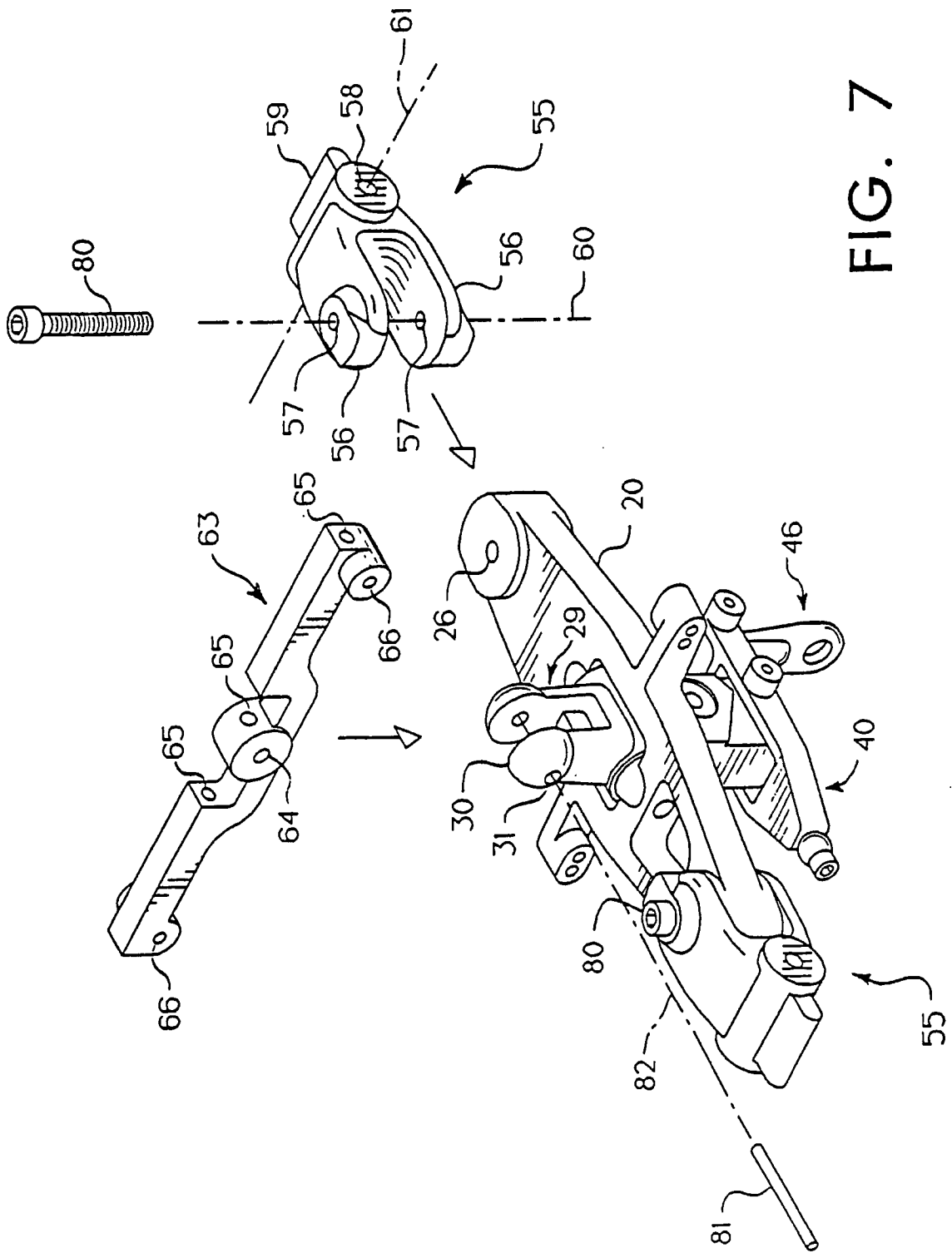


FIG. 7

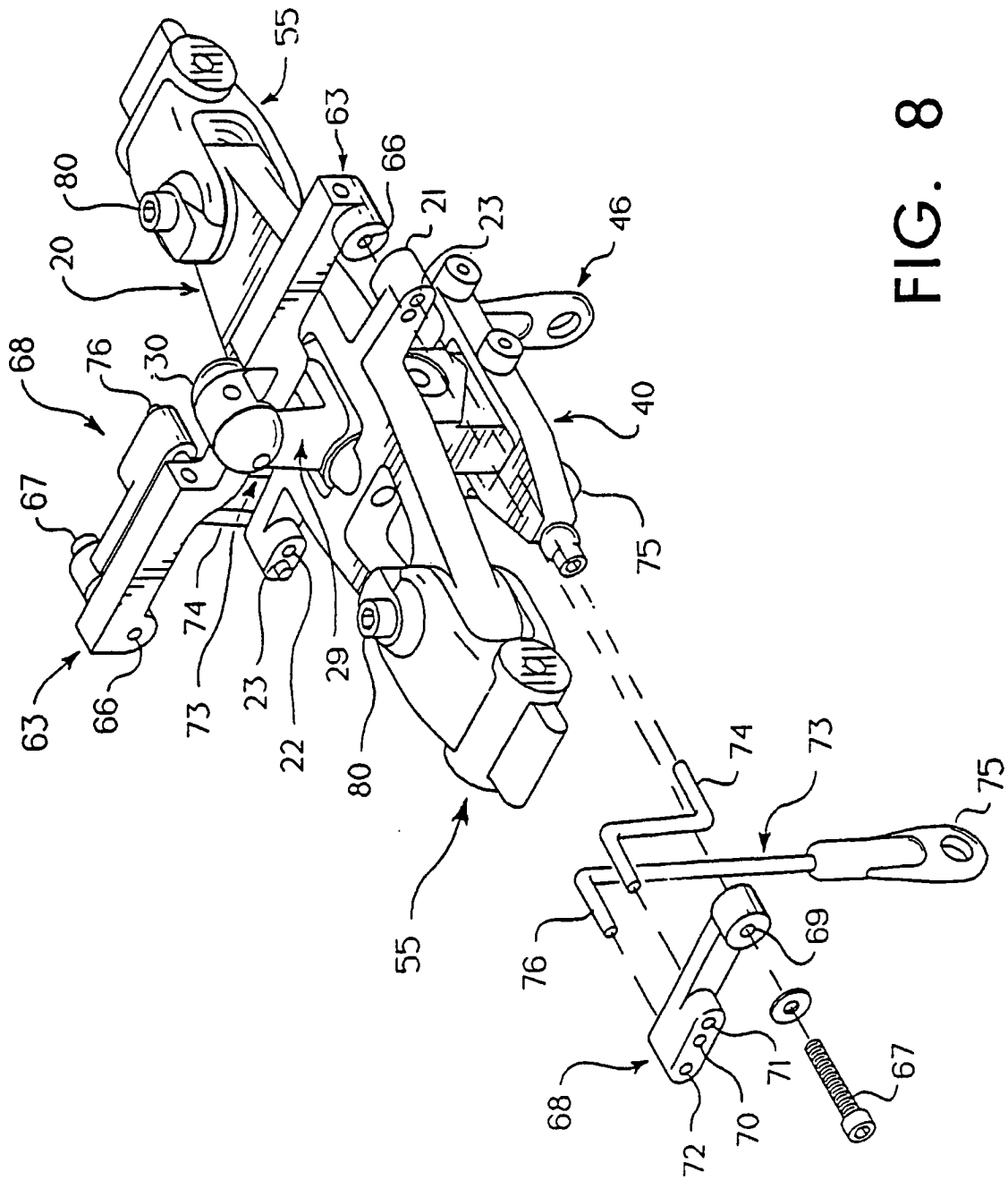


FIG. 8

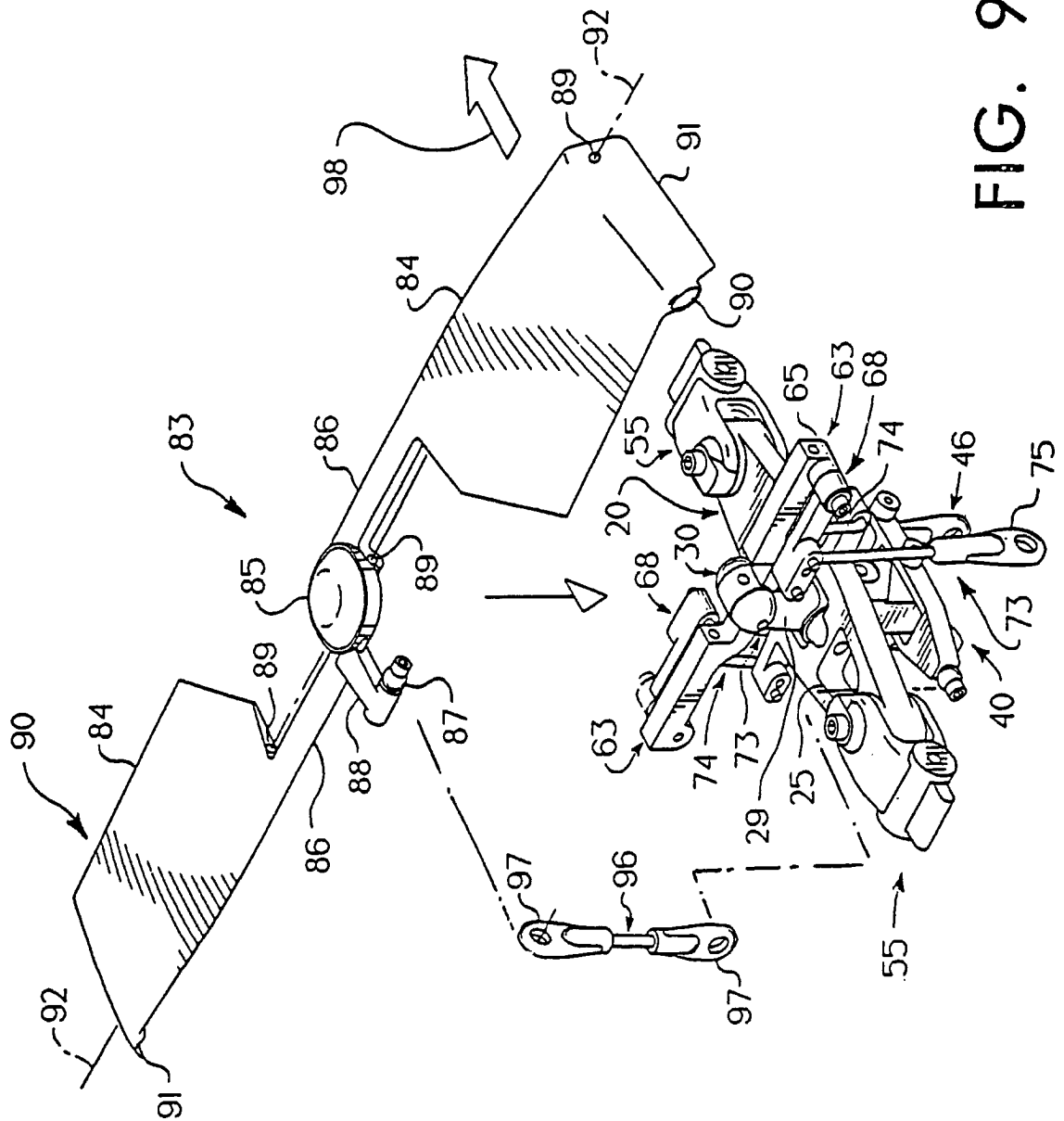


FIG. 9

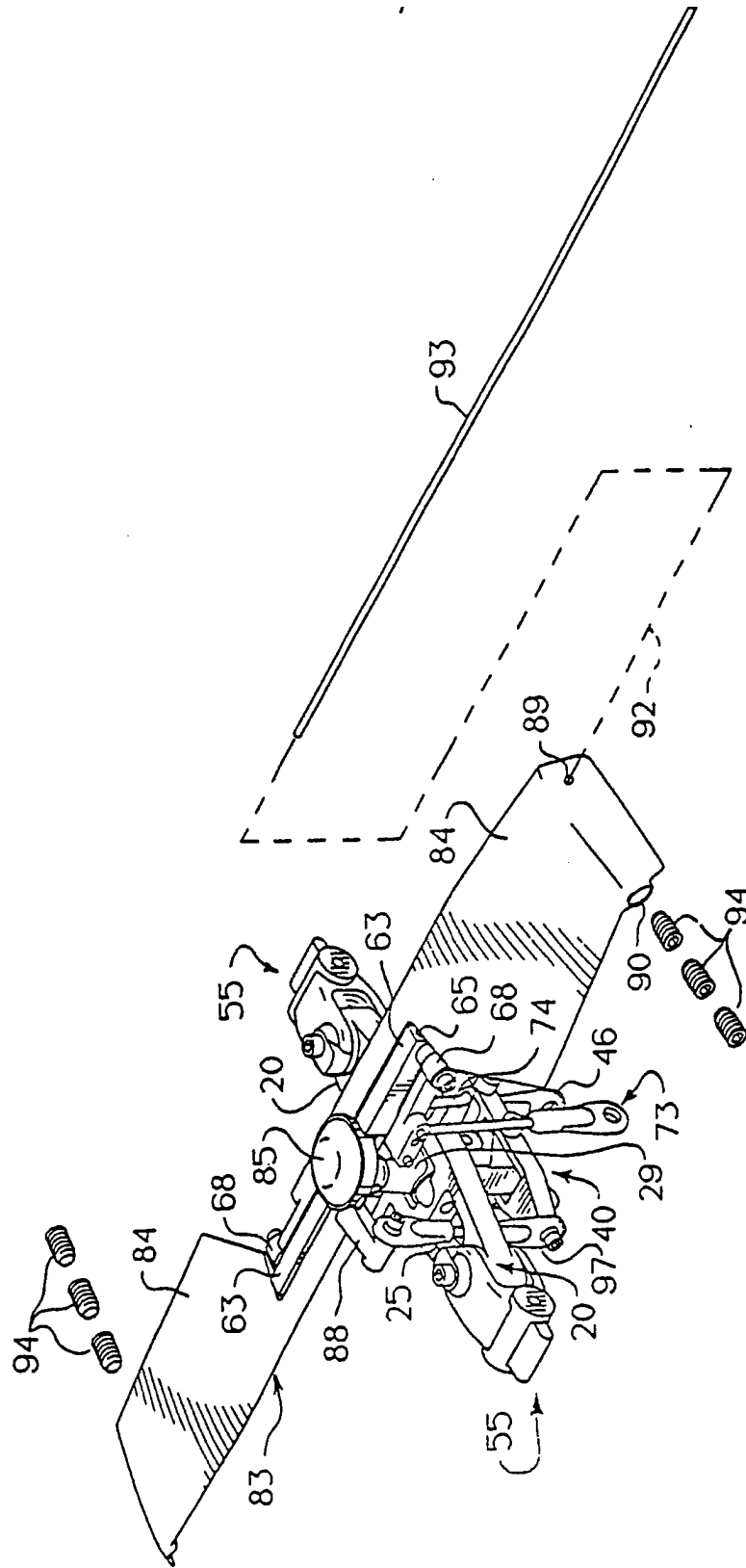


FIG. 10

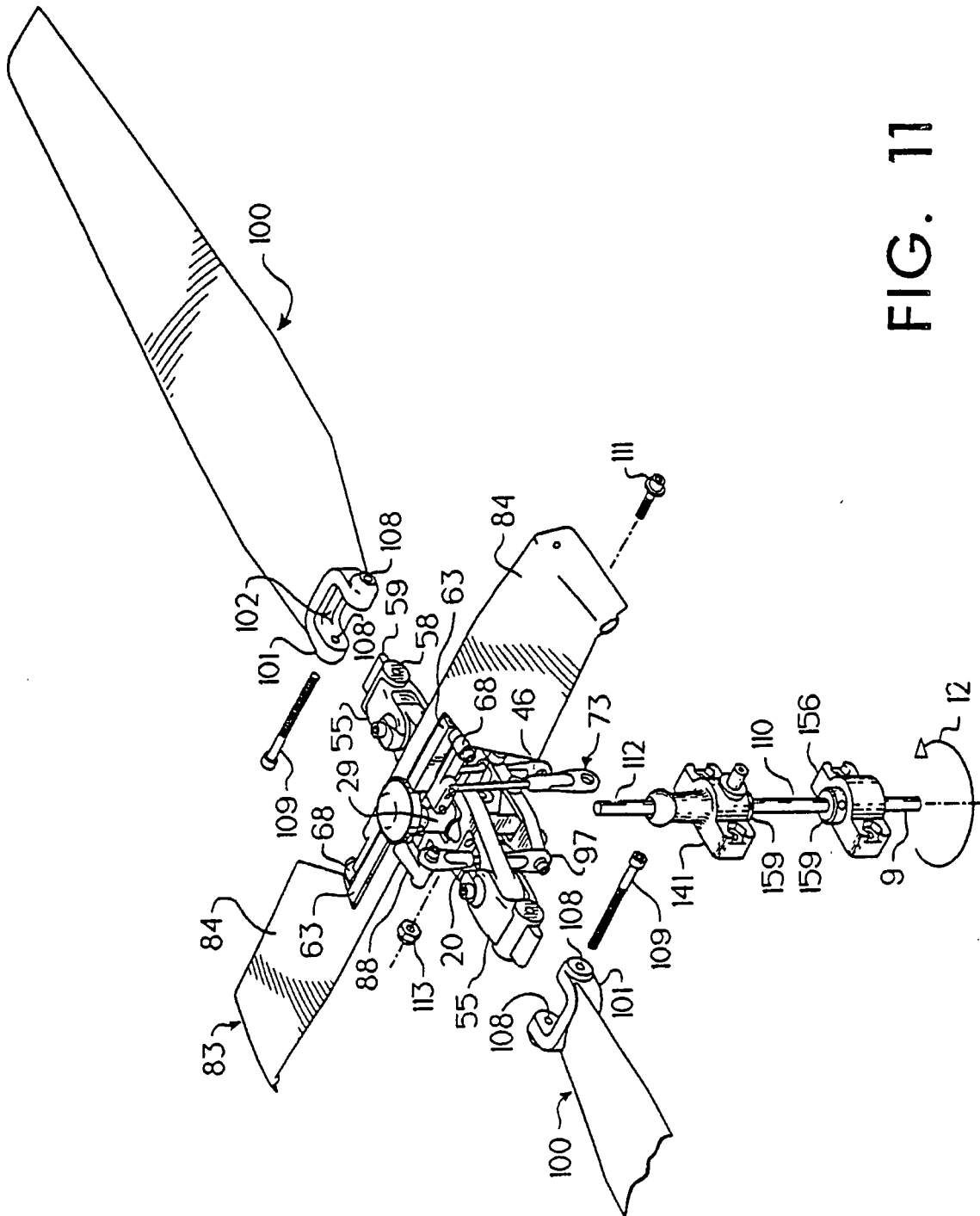


FIG. 11

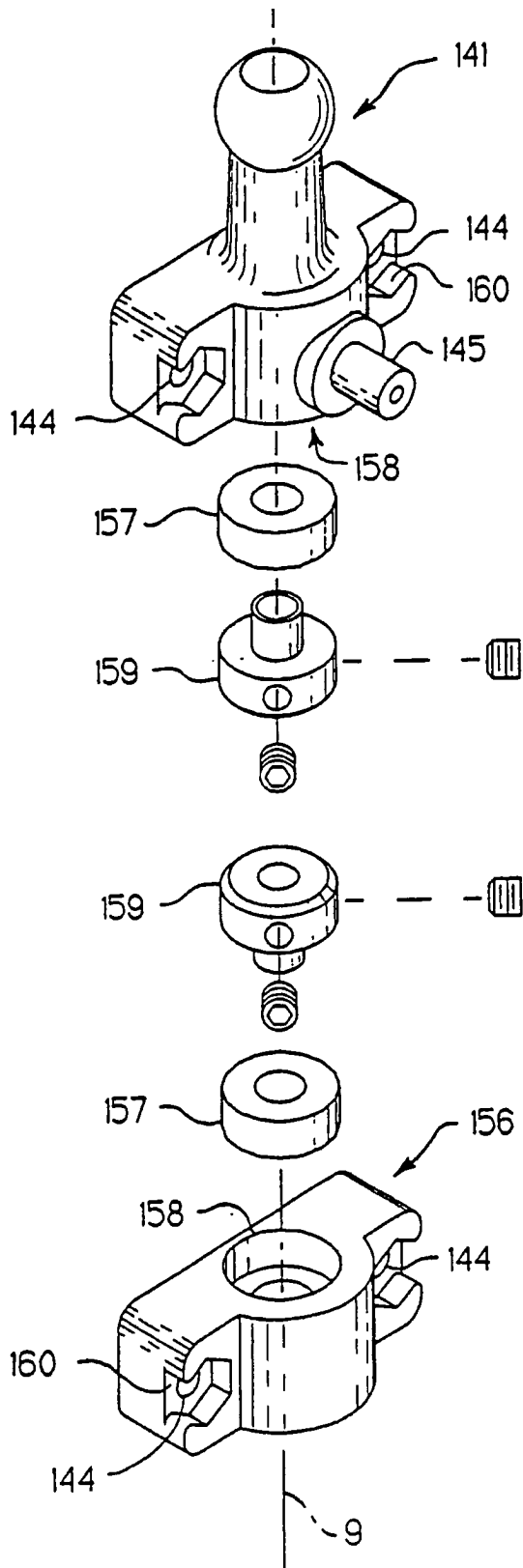


FIG. 12

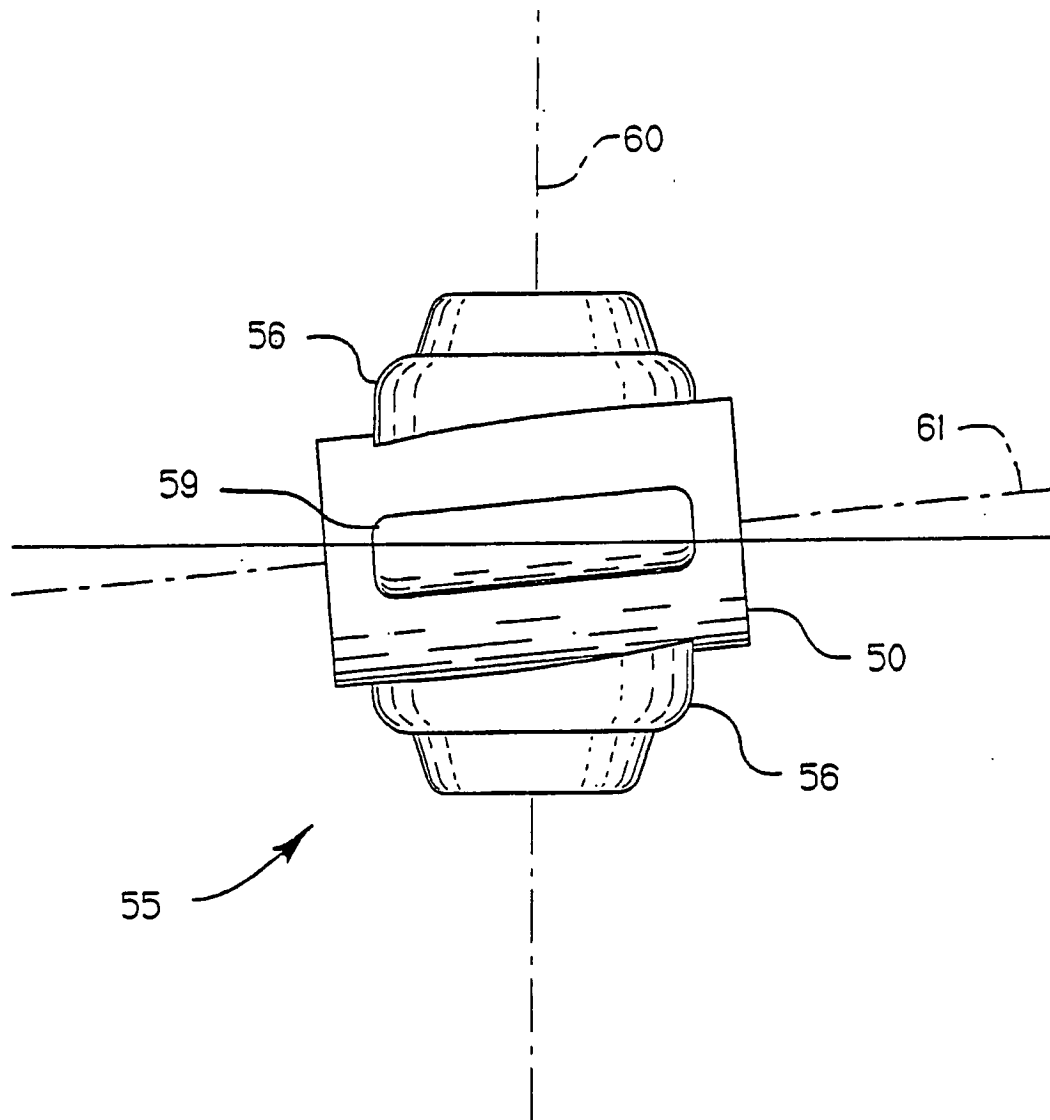


FIG. 13

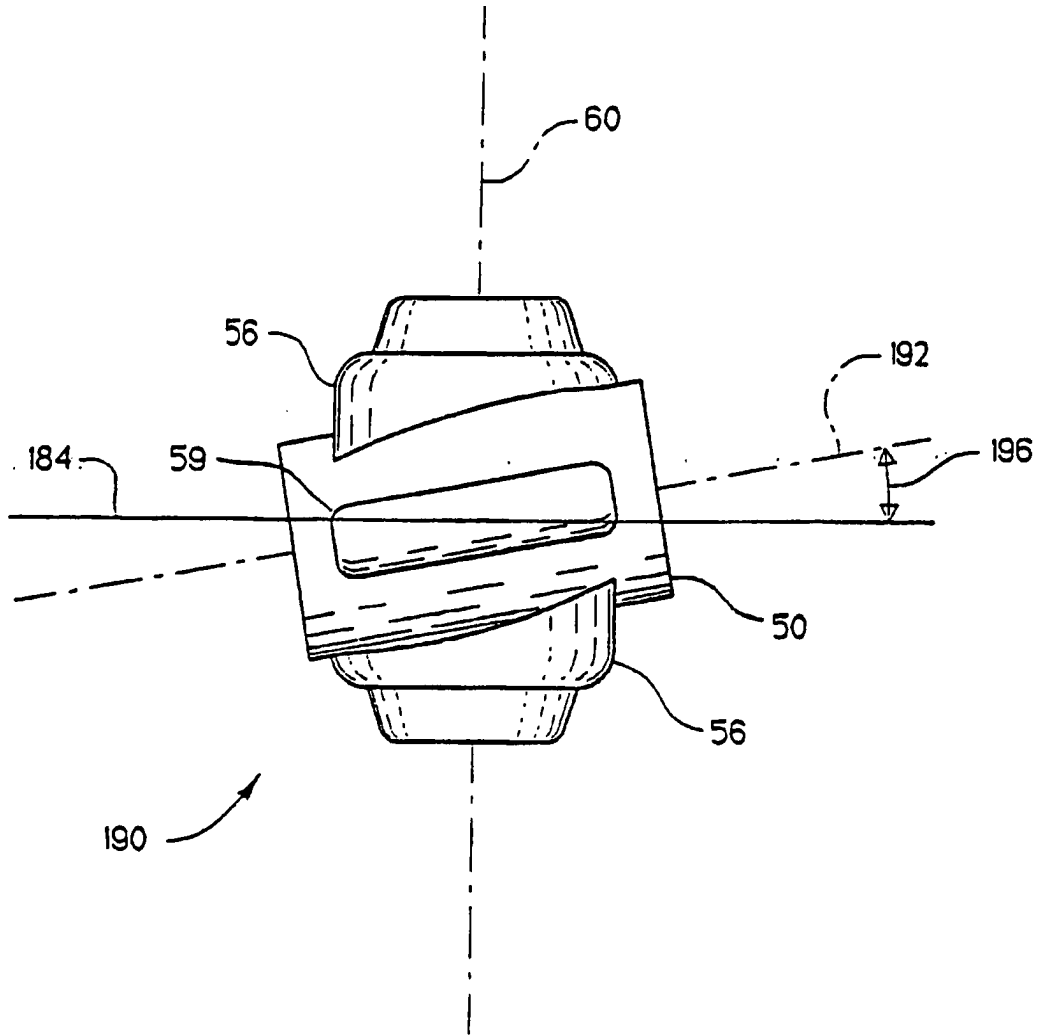


FIG. 13a

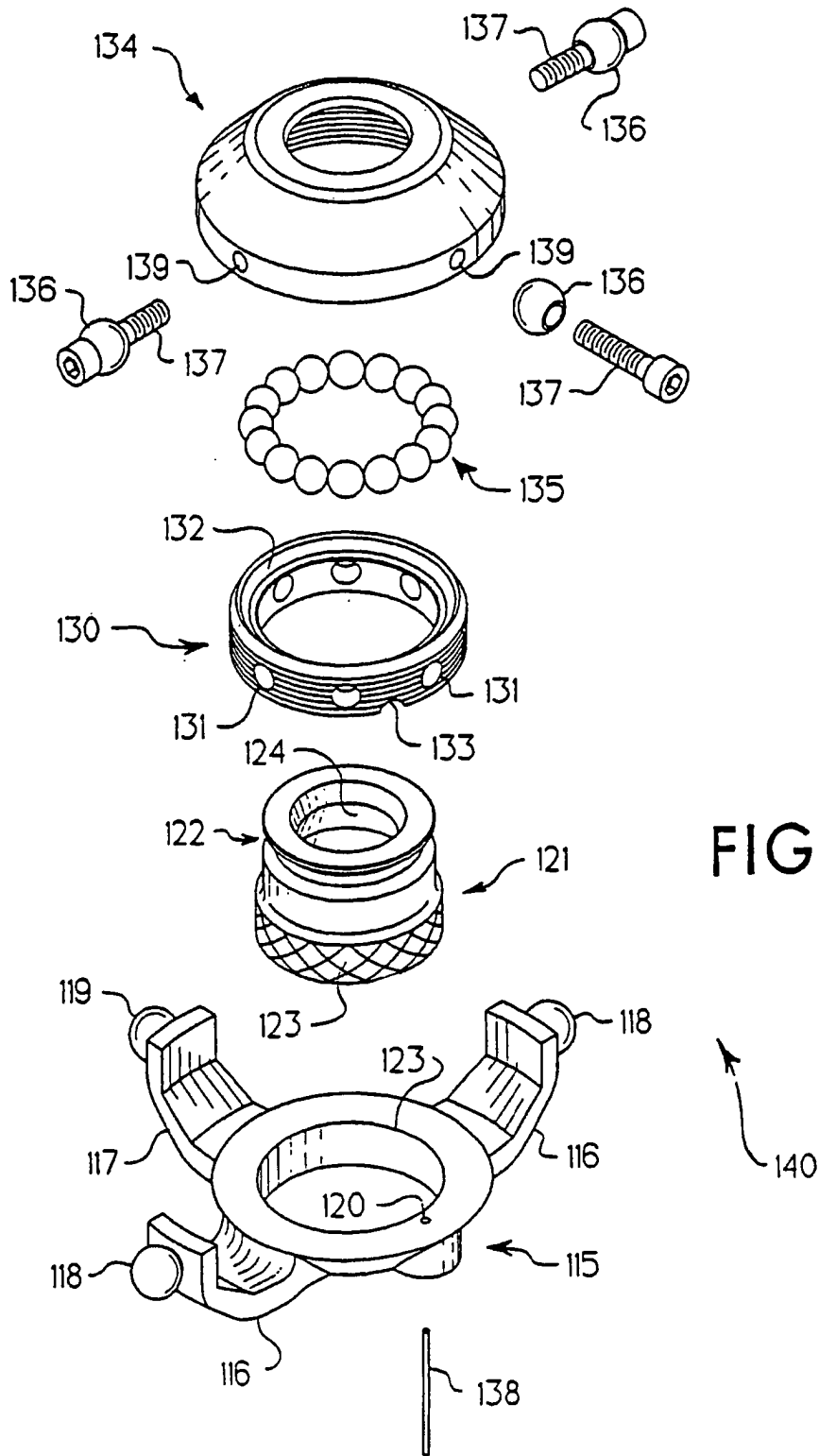


FIG. 14

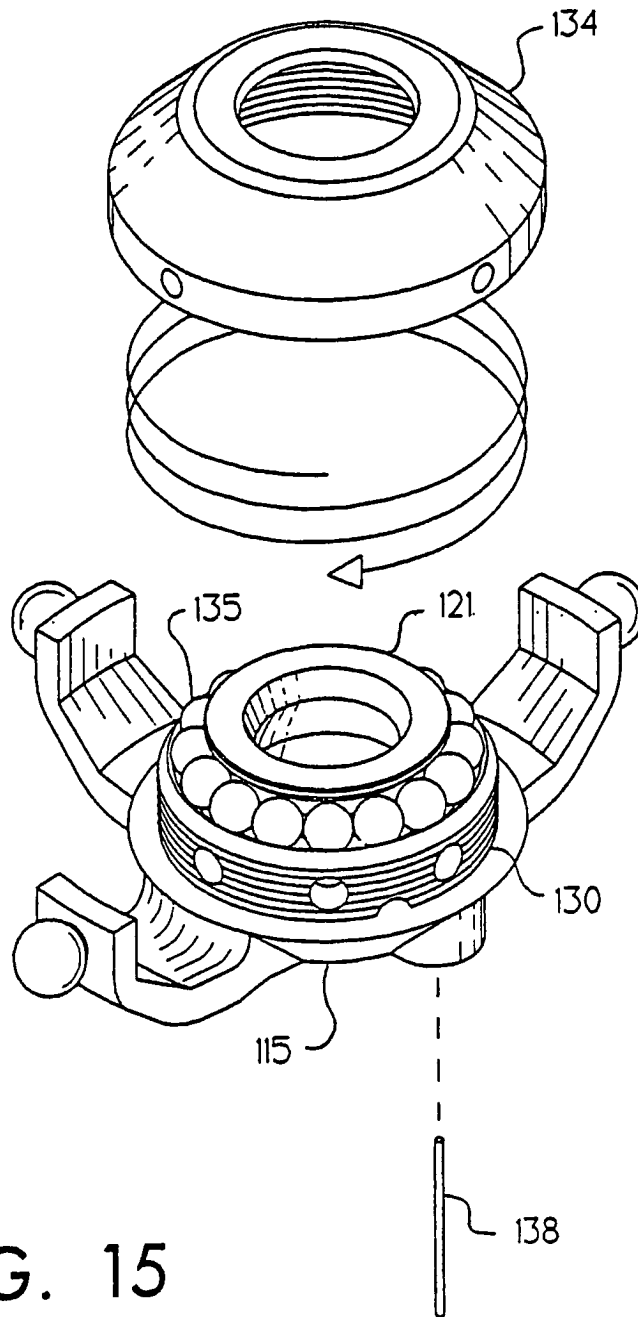


FIG. 15

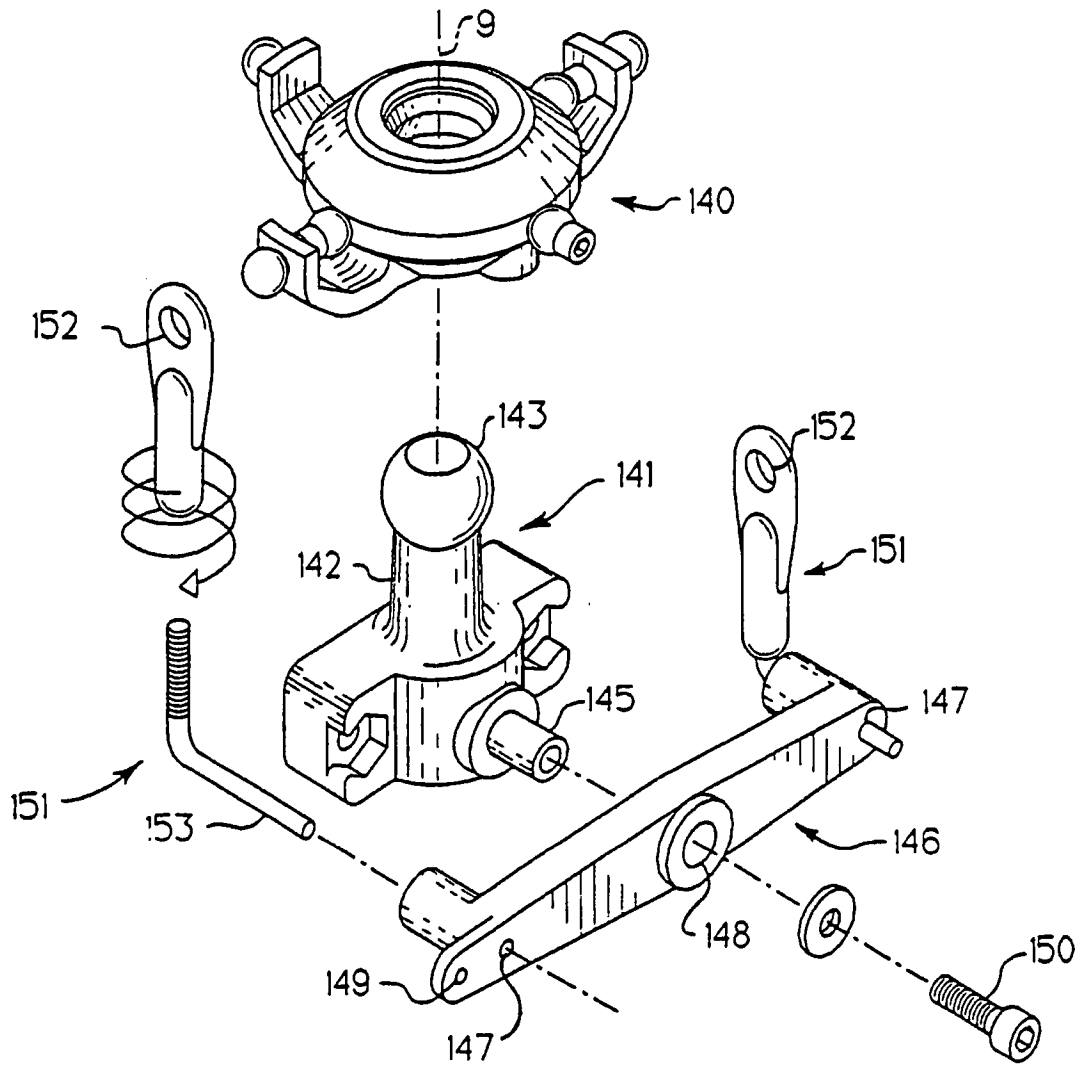


FIG. 16

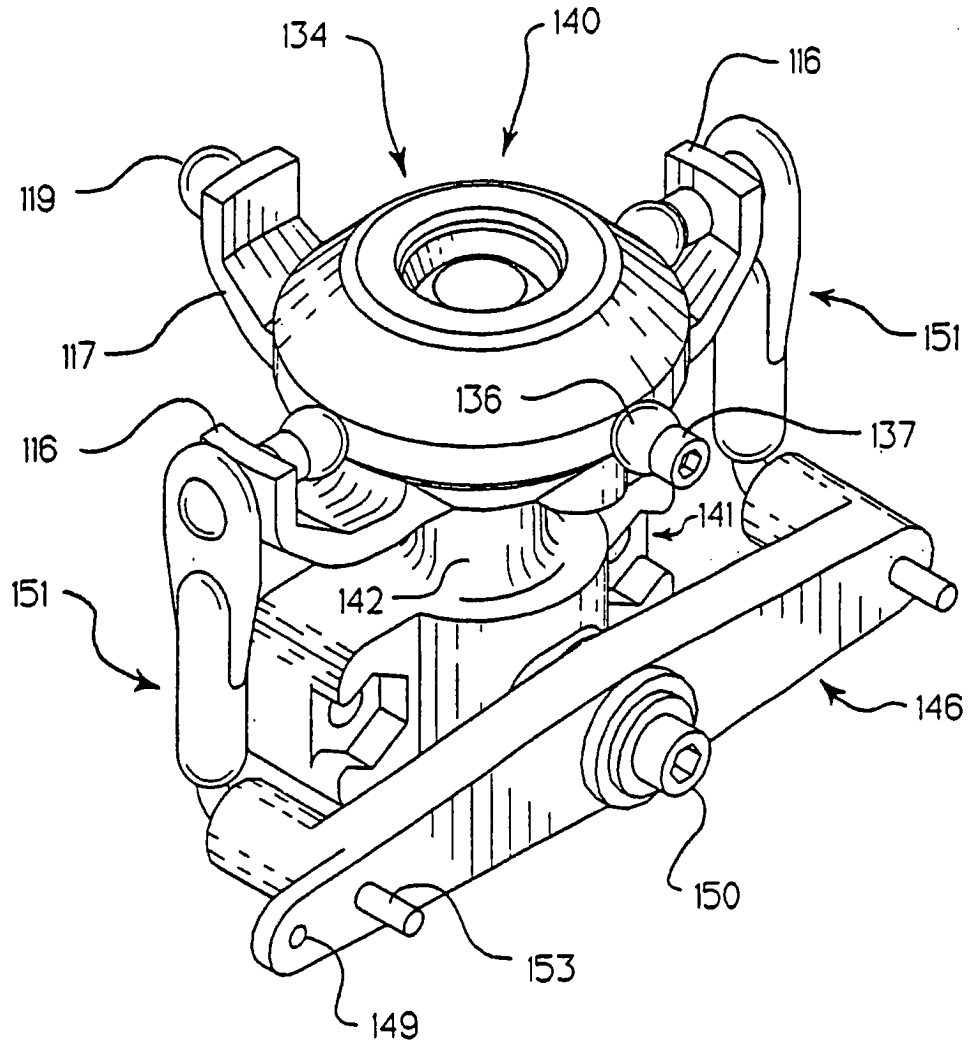


FIG. 17

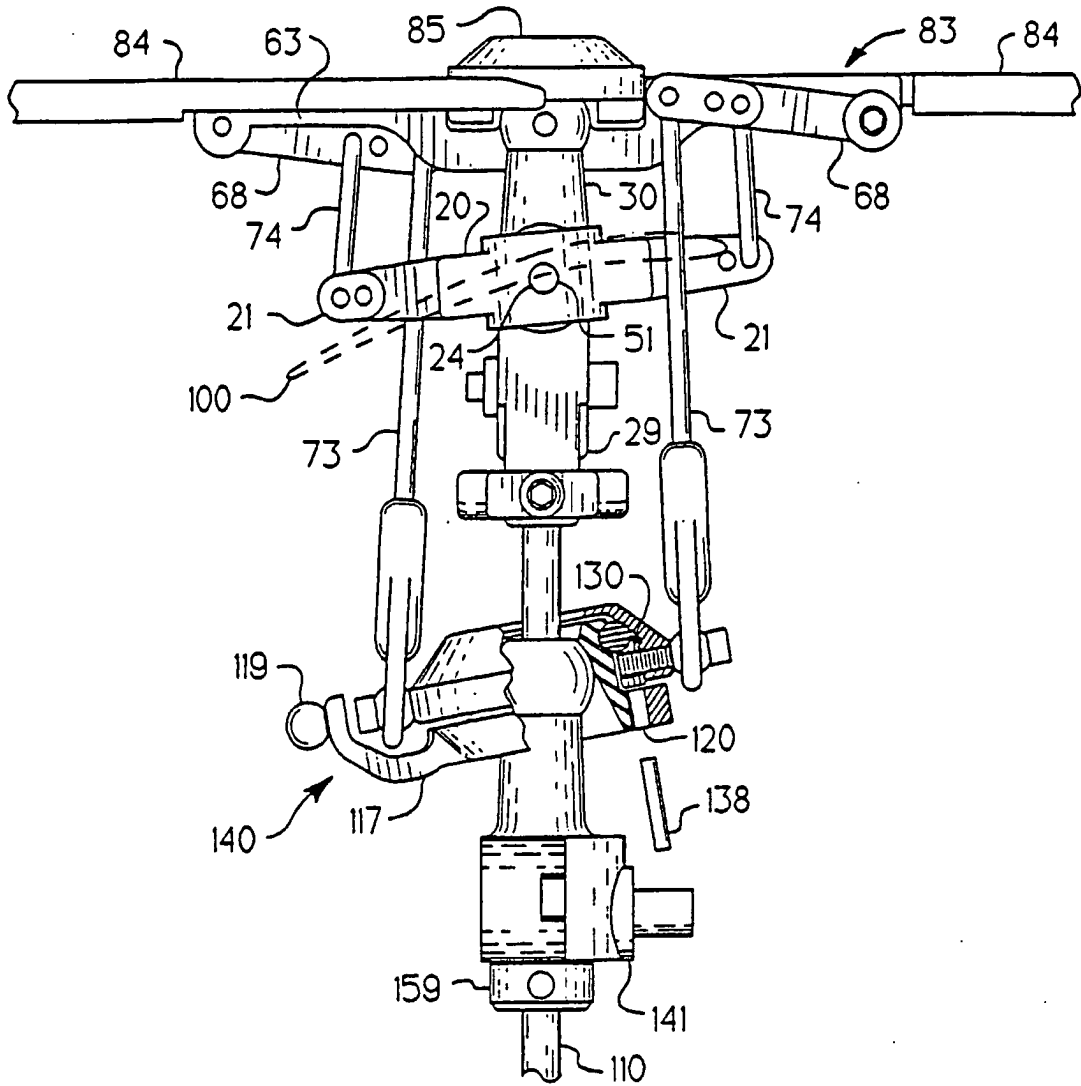


FIG. 18

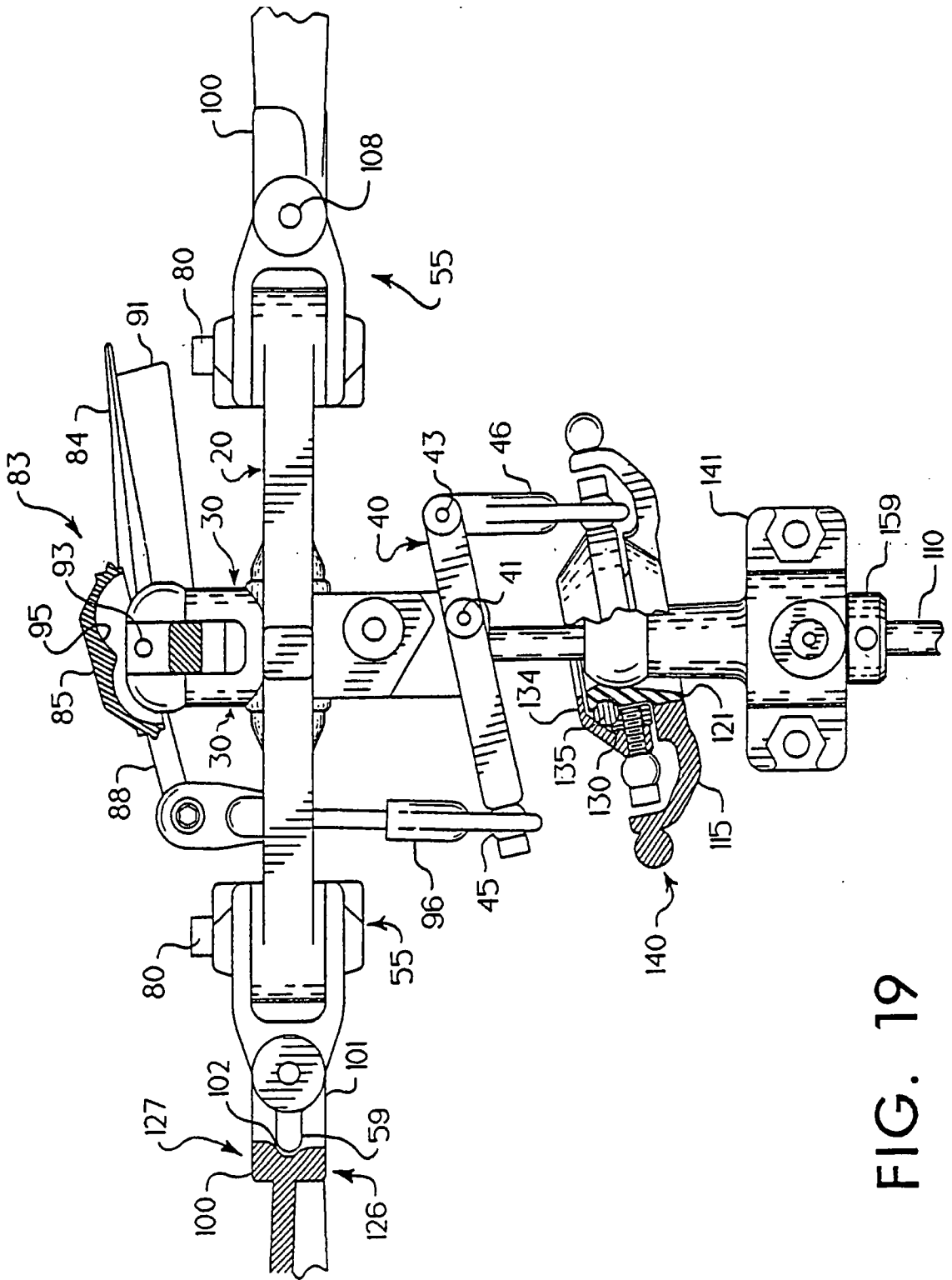


FIG. 19

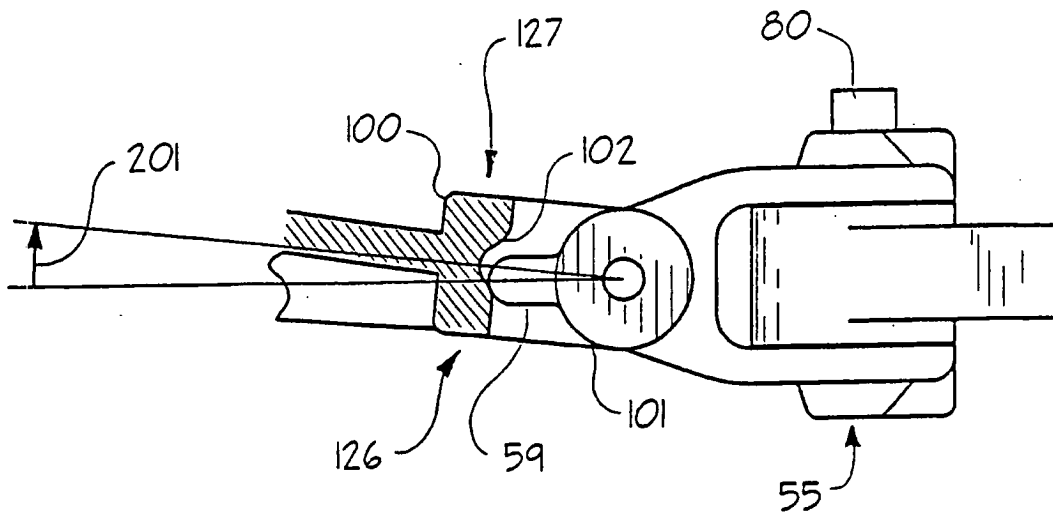


FIG. 19A

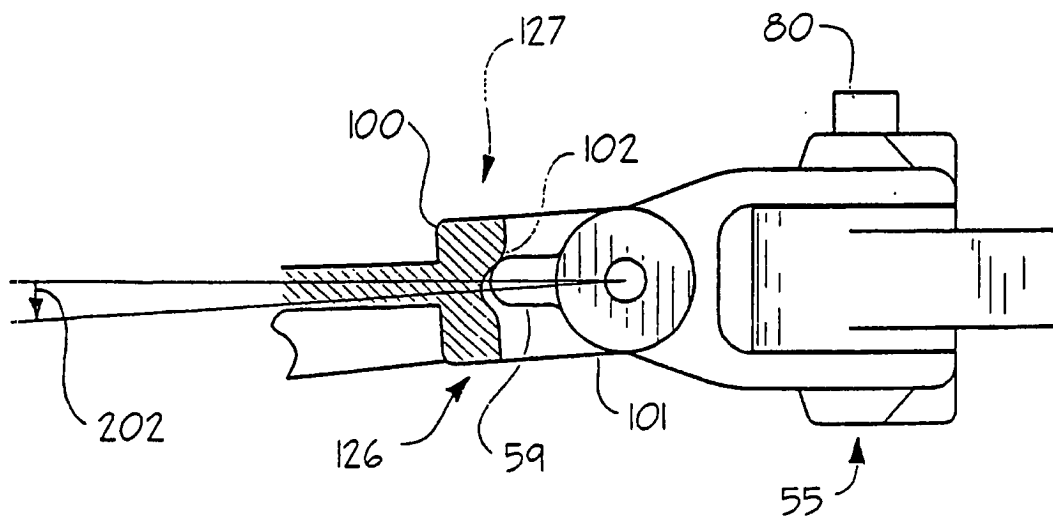


FIG. 19B

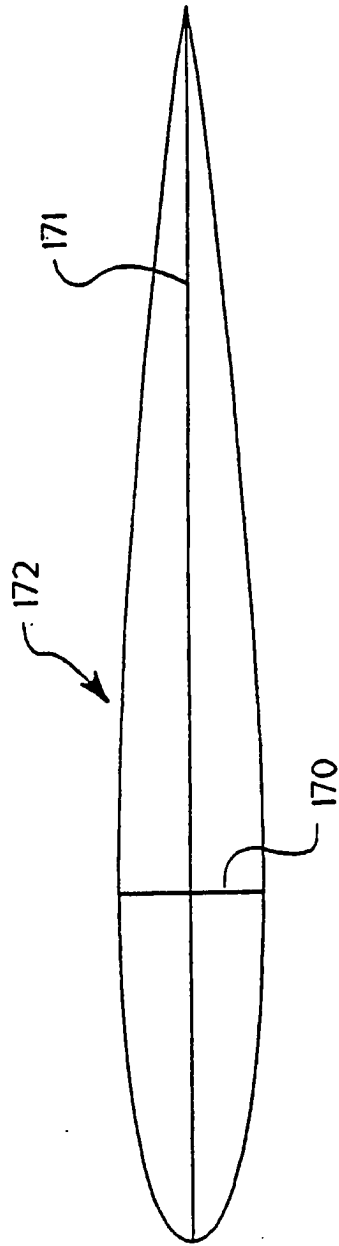
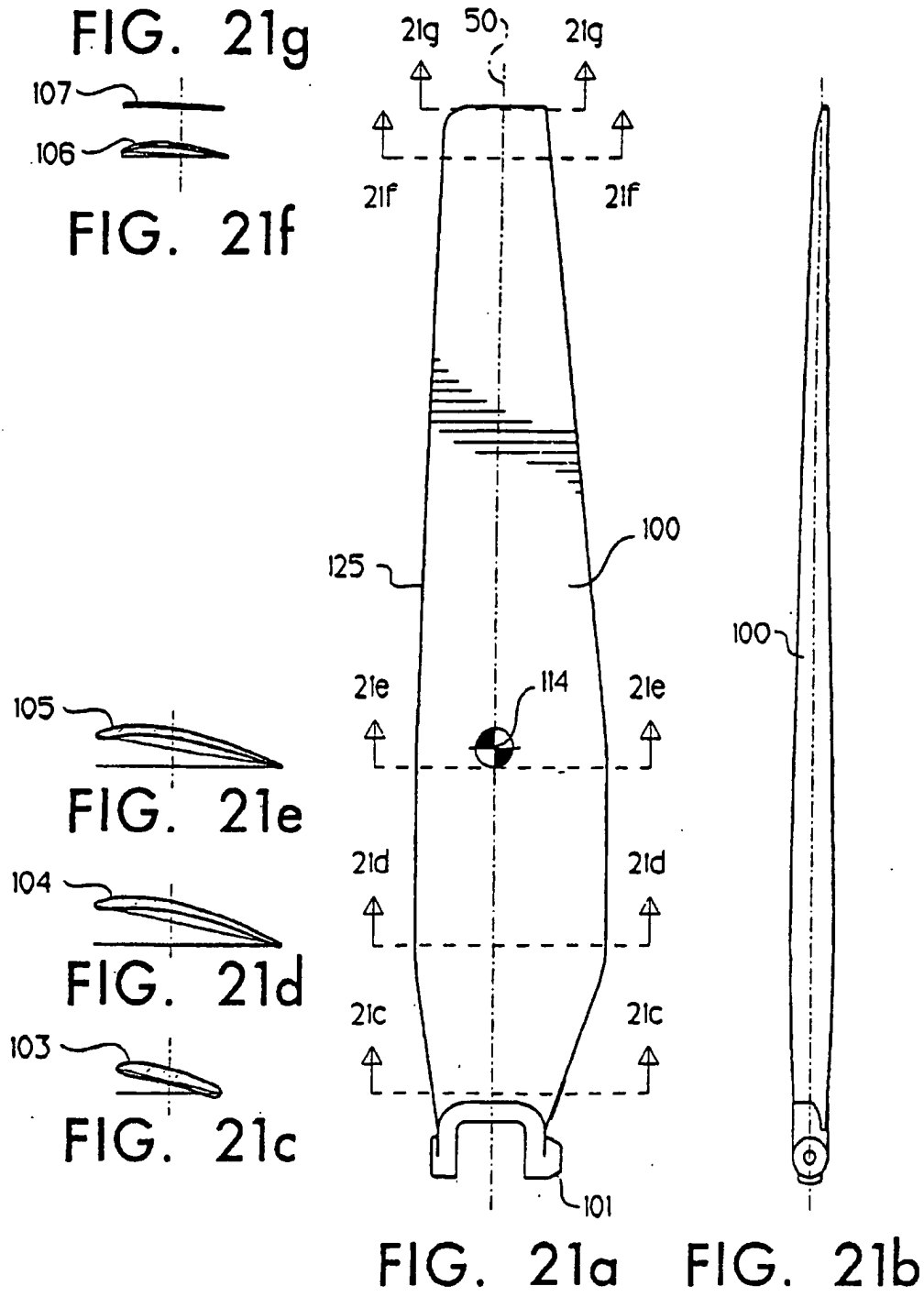


FIG. 20



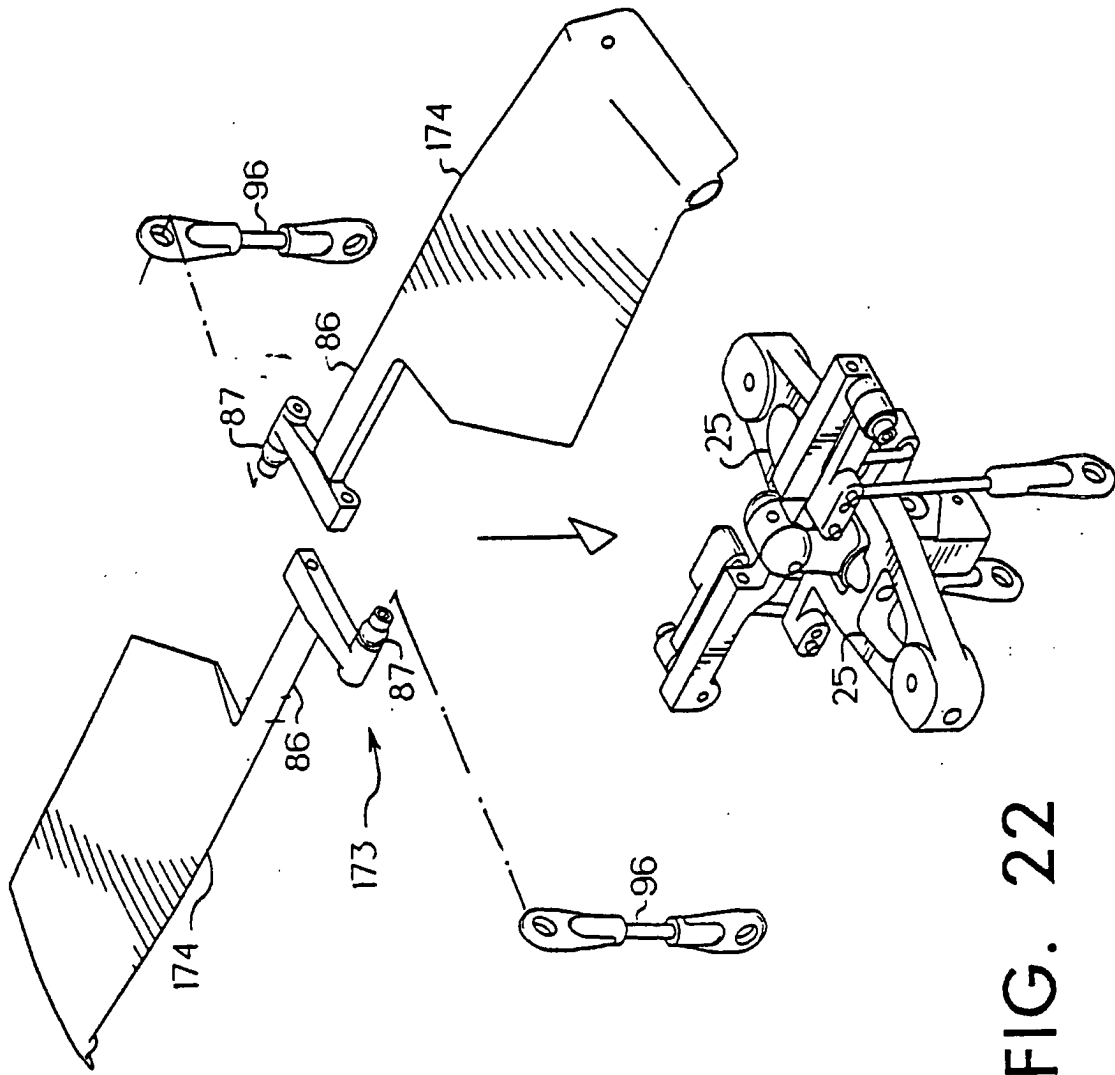


FIG. 22