

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901981403A1

Publication Date

20130323

Applicant

FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA

Title

ATTUATORE ROTANTE ELASTICO.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Attuatore rotante elastico"

Di: FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA, nazionalità italiana, Via Morego 30, 16163 Genova

Inventore designato: Ivar THORSON

Depositata il: 23 settembre 2011

* * *

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce a un attuatore rotante, particolarmente per applicazioni in campo robotico, dove con il termine "attuatore rotante" è da intendersi un dispositivo in grado di produrre in uscita un moto rotatorio intorno a un asse di rotazione esercitando una coppia intorno a tale asse. Più in particolare, la presente invenzione si riferisce a un attuatore rotante elastico, cioè a un attuatore rotante comprendente mezzi elastici interposti fra il motore e l'organo di uscita finale, in maniera tale per cui la trasmissione della coppia fra il motore e l'organo di uscita finale avviene per il tramite di tali mezzi elastici.

E' indubbio che in futuro la robotica si affiderà pesantemente ad algoritmi di controllo che operano nel dominio di controllo in forza e coppia, dato che ciò consente applicazioni che sono impos-

sibili da attuare con il solo controllo in posizione. Ad esempio, senza un'accurata misura delle forze generate da un robot è impossibile manipolare con precisione oggetti delicati non modellati o interagire con l'uomo in condizioni di sicurezza in un ambiente non strutturato. Gli attuatori rotanti oggi utilizzati presentano notevoli limiti che li rendono inadatti a questo tipo di controllo.

Le caratteristiche che un attuatore rotante dovrebbe idealmente possedere sono le seguenti:

- elevata coppia massima,
- elevata velocità angolare massima,
- elevato rapporto potenza/peso,
- elevato rendimento energetico,
- elevata larghezza di banda di generazione di forza, e
- bassa impedenza meccanica in presenza di disturbi di posizione.

Con il termine "impedenza meccanica" s'intende l'inerzia apparente di un sistema in risposta a un disturbo, cioè la coppia effettivamente risultante quando si applica un disturbo (forza/coppia) su un attuatore programmato per fornire una coppia nulla. La coppia effettivamente risultante dipende dalla velocità con cui viene applicato il disturbo, ra-

gion per cui l'impedenza meccanica viene spesso analizzata con riferimento a una particolare frequenza. Con anelli di controllo veloci è possibile ridurre l'impedenza meccanica a velocità inferiori alla frequenza dell'anello di controllo, ma a velocità superiori sono in gioco solo effetti meccanici. Nei sistemi reali, anche al disotto della frequenza di controllo non è mai possibile eliminare completamente l'impedenza meccanica a causa delle forze di attrito e delle forze d'inerzia dovute alla massa non sospesa.

La maggior parte degli attuatori rotanti per applicazioni robotiche oggigiorno a disposizione hanno limitate capacità di controllo di forza/coppia. Gli attuatori idraulici presentano eccellenti caratteristiche di coppia massima, di velocità massima e di rapporto potenza/peso, ma d'altro canto presentano un'impedenza meccanica molto elevata e quindi è difficile utilizzare tali attuatori in sistemi di azionamento con controllo in coppia. Gli attuatori pneumatici presentano una cedevolezza intrinseca dovuta al fatto di contenere un gas comprimibile, ma sono affetti da problemi di controllo di banda a causa dei limiti di portata e di tenuta delle loro valvole. Gli attuatori elet-

trici sono veloci, ma generalmente sono in grado di produrre basse coppie e quindi richiedono l'utilizzo di riduttori, che presentano attriti elevati e di conseguenza fanno aumentare considerevolmente l'impedenza meccanica. Un modo per migliorare le capacità di controllo di coppia degli attuatori elettrici è quello di utilizzare un elemento elastico - tipicamente una molla di materiale metallico - per collegare il motore elettrico al carico esterno. Se la posizione del carico esterno viene perturbata da un disturbo, la forza nella molla inizia ad aumentare. Dato che però l'inerzia della molla è molto bassa, tale forza varia in modo molto graduale, contrariamente a quanto avviene con l'impiego di riduttori che presentano un'elevata inerzia. In questo modo, l'aggiunta di un elemento elastico in serie disaccoppia in una certa misura i movimenti del motore elettrico e del carico esterno. Anche se l'aggiunta di un elemento elastico riduce la capacità dell'attuatore di generare rapidamente una coppia elevata, dato che l'elemento elastico deve essere deformato in misura significativa per essere in grado di generare una forza elevata, d'altra parte aumenta la capacità di resistenza a rottura in caso di carichi impulsivi e soprattutto l'affi-

dabilità del controllo in forza/coppia. Gli attuatori rotanti elastici stanno pertanto diventando sempre più diffusi in campo robotico.

Un attuatore rotante elastico del tipo sopra identificato è noto da EP1972414 e comprende un meccanismo a camma agente sui mezzi elastici in modo da produrre una deformazione di detti mezzi elastici variabile in modo non lineare in funzione dell'angolo di rotazione dell'organo di uscita finale.

Scopo della presente invenzione è realizzare un attuatore rotante elastico del tipo sopra identificato che abbia prestazioni superiori alla tecnica nota, in particolare in termini di capacità di immagazzinamento di energia elastica e di precisione di controllo della coppia trasmessa al carico esterno.

Questo e altri scopi sono pienamente raggiunti secondo la presente invenzione grazie a un attuatore rotante elastico avente le caratteristiche definite nell'annessa rivendicazione indipendente 1.

Forme di attuazione preferite dell'attuatore rotante elastico secondo la presente invenzione sono specificate nelle rivendicazioni dipendenti, il cui contenuto è da intendersi come parte integrale

e integrante della presente descrizione.

In sintesi, l'invenzione si fonda sull'idea di realizzare un attuatore rotante elastico del tipo sopra identificato, in cui la deformazione dei mezzi elastici è prodotta mediante un meccanismo ipocicloidale interposto fra il gruppo motore e l'organo di uscita finale.

Le caratteristiche e i vantaggi della presente invenzione risulteranno dalla descrizione dettagliata che segue, fornita a puro titolo di esempio non limitativo con riferimento ai disegni allegati, in cui:

la figura 1 è una vista prospettica che mostra nel suo complesso un attuatore rotante elastico secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione;

la figura 2 è un'ulteriore vista prospettica dell'attuatore rotante elastico della figura 1;

la figura 3 è una vista in sezione assiale dell'attuatore rotante elastico della figura 1;

la figura 4 è una vista in sezione del gruppo elastico dell'attuatore rotante elastico della figura 1;

la figura 5 è una vista prospettica del gruppo riduttore dell'attuatore rotante elastico della fi-

gura 1;

la figura 6 è una vista in esploso del rotismo epicicloidale del gruppo riduttore della figura 5;

la figura 7 è una vista prospettica del gruppo differenziale dell'attuatore rotante elastico della figura 1;

le figure 8 e 9 sono viste prospettiche del meccanismo ipocicloidale dell'attuatore rotante elastico della figura 1;

la figura 10 è una vista in esploso del meccanismo ipocicloidale delle figure 8 e 9;

la figura 11 è un diagramma schematico che illustra il principio di funzionamento del meccanismo ipocicloidale delle figure 8 e 9; e

la figura 12 mostra un grafico che riporta l'andamento della coppia generata dal gruppo elastico dell'attuatore rotante elastico della figura 1 in funzione dell'angolo di deflessione.

Con riferimento inizialmente alle figure dalla 1 alla 3, un attuatore rotante elastico secondo una forma di realizzazione preferita della presente invenzione è complessivamente indicato con 10 e comprende fondamentalmente un gruppo motore 12, un gruppo riduttore 14, un gruppo differenziale 16, un gruppo elastico 18 e un organo di uscita finale 20,

l'organo di uscita finale 20 essendo supportato in modo girevole intorno a un asse di rotazione x ed essendo destinato a essere collegato a un carico esterno (non mostrato), il gruppo motore 12 essendo predisposto per generare un moto rotatorio intorno all'asse di rotazione x , e il gruppo riduttore 14, il gruppo differenziale 16 e il gruppo elastico 18 essendo assialmente interposti (dove il termine "assialmente", come pure il termine "assiale", sono qui utilizzati per individuare la direzione dell'asse di rotazione x) nell'ordine fra il gruppo motore 12 e l'organo di uscita finale 20 per trasmettere a quest'ultimo il moto rotatorio generato dal gruppo motore.

Con riferimento in particolare alla figura 3, il gruppo motore 12 comprende fondamentalmente un motore elettrico 24, quale ad esempio un motore brushless a 12 poli, un albero motore 26 predisposto per essere comandato in rotazione dal motore elettrico 24 intorno all'asse di rotazione x e un involucro 28 in cui è accolto il motore elettrico 24. Il motore elettrico 24 comprende, in modo per sé noto, uno statore 30 tenuto saldamente fermo all'interno dell'involucro 28 e un rotore 32 accolto all'interno dello statore 30 e disposto coas-

sialmente a questo. L'involucro 28 comprende un primo elemento d'involucro 34 e un secondo elemento d'involucro 36 (posti rispettivamente a sinistra e a destra rispetto al punto di vista dell'osservatore delle figure 2 e 3), che sono fissati l'uno all'altro mediante viti 38 (figura 2) in modo da serrare assialmente lo statore 30. L'albero motore 26 è supportato a rotazione mediante una coppia di cuscinetti 40 e 42, rispettivamente portati dal primo e dal secondo elemento d'involucro 34 e 36. Il rotore 32 è calzato sull'albero motore 26 in modo da essere solidale a rotazione con quest'ultimo. Su un'estremità dell'albero motore 26 (estremità di destra, rispetto al punto di vista dell'osservatore della figura 3) è montata una ruota dentata 44 funzionante da ruota solare del gruppo riduttore 14, come verrà meglio spiegato più avanti, la ruota dentata 44 essendo rigidamente collegata a rotazione all'albero motore 26 mediante ad esempio una vite di bloccaggio, una chiavetta o una coppiglia. Il gruppo motore 12 comprende inoltre un encoder ottico 46, o altro tipo di sensore di posizione angolare (quale ad esempio un potenziometro, un sensore a effetto Hall, ecc.), predisposto per rilevare la posizione angolare dell'albero motore 26. Il gruppo

motore 12 converte quindi energia elettrica in energia meccanica sotto forma di coppia e di velocità angolare messe a disposizione a livello della ruota dentata 44.

Si descriverà ora il gruppo riduttore 14, la cui funzione è quella di operare una riduzione della velocità angolare (ad esempio con un rapporto di trasmissione τ compreso fra 1:12 e 1:24) fra un organo d'ingresso, costituito dalla ruota dentata 44 direttamente comandata in rotazione dal motore elettrico 24, e un organo di uscita. Con riferimento alle figure 3, 5 e 6, nella forma di realizzazione ivi illustrata il gruppo riduttore 14 è realizzato come rotismo epicicloidale e comprende fondamentalmente la suddetta ruota dentata 44 funzionante da ruota solare, una corona a dentatura interna 48 e una pluralità di satelliti doppi 50 (nella forma di realizzazione illustrata, tre satelliti doppi disposti a 120°) uguali l'uno all'altro. Ciascun satellite doppio 50 comprende un primo satellite 52 e un secondo satellite 54 rigidamente collegati a rotazione l'uno all'altro, laddove il primo satellite 52 ha un numero di denti minore rispetto al secondo satellite 54. I primi satelliti 52 ingranano ciascuno con la corona a dentatura interna 48, mentre

i secondi satelliti 54 ingranano ciascuno con la ruota dentata 44. La corona a dentatura interna 48 è fissata a un involucro 56, in cui sono accolti sia il gruppo riduttore 14 sia il gruppo differenziale 16. L'involucro 56 è fissato mediante viti 58 all'involucro 28 del gruppo motore 12. Ciascun satellite doppio 50 è montato liberamente girevole su un rispettivo albero 60 portato da un portatreno 62, che funge da organo di uscita del gruppo riduttore 14. Gli alberi 60 sono piantati a forza in rispettivi fori passanti previsti nel portatreno 62 in modo da essere bloccati a rotazione rispetto a quest'ultimo. Il portatreno 62 è supportato a rotazione intorno all'asse di rotazione x mediante un cuscinetto 64 montato nell'involucro 56. Per effetto della riduzione operata dal rotismo epicicloidale, la velocità angolare del portatreno 62 risulta ridotta di un fattore $1/\tau$ (compreso ad esempio fra 12 e 24) rispetto a quella della ruota dentata 44.

Si descriverà ora, con riferimento alle figure 3 e 7, il gruppo differenziale 16, la cui funzione è quella di raddoppiare la differenza fra la posizione angolare del portatreno 62 (che, come detto, rappresenta l'organo di uscita del gruppo riduttore 14) e quella dell'organo di uscita finale 20

dell'attuatore. Nella forma di realizzazione illustrata, il gruppo differenziale 16 è realizzato come rotismo epicicloidale, così come il gruppo riduttore 14, con il quale condivide il portatreno. Più precisamente, il gruppo differenziale 16 comprende una ruota solare 66, una corona a dentatura interna 68 e una pluralità di satelliti 70 permanentemente ingrananti sia con la ruota solare 66 sia con la corona a dentatura interna 68. La corona a dentatura interna 68 è rigidamente collegata a rotazione mediante viti 72 a un organo di supporto 74, che è supportato a rotazione intorno all'asse di rotazione x mediante un cuscinetto 76. I satelliti 70 sono in numero di sei, di cui tre sono montati liberamente girevoli sugli alberi 60 del portatreno 62 del gruppo riduttore 14, cioè sui medesimi alberi su cui sono montati i satelliti doppi 50 del gruppo riduttore 14, mentre i rimanenti tre sono montati liberamente girevoli su ulteriori alberi 78 portati dal portatreno 62 del gruppo riduttore 14. Come gli alberi 60 del gruppo riduttore 14, anche gli alberi 78 del gruppo differenziale 16 sono piantati a forza in rispettivi fori passanti previsti nel portatreno 62 in modo da essere bloccati a rotazione rispetto a quest'ultimo. Il gruppo

differenziale 16 ha quindi come ingresso il portatreno 62 del gruppo riduttore 14 e come uscita l'insieme formato dalla corona a dentatura interna 68 e dall'organo di supporto 74.

Si descriverà ora il gruppo elastico 18, con riferimento in particolare alle figure 3 e 4 e alle figure dalla 8 alla 10. Il gruppo elastico 18 è assialmente interposto fra il gruppo differenziale 16 (o in alternativa, nel caso in cui il gruppo differenziale 16 sia omissso, fra il gruppo riduttore 14) e l'organo di uscita finale 20 e comprende fondamentalmente una molla 80 e un meccanismo ipocicloideale predisposto per deformare la molla 80 a seguito di una rotazione relativa fra l'organo di uscita finale 20 e l'albero motore 26. Com'è noto, un ipocicloide è una curva piana generata dalla traiettoria di un punto fisso sul perimetro di un cerchio di raggio minore che rotola senza strisciare all'interno di un cerchio di raggio maggiore. La forma dell'ipocicloide dipende dal rapporto fra i raggi dei due cerchi. Se tale rapporto è un numero n intero, allora l'ipocicloide presenterà un numero n di cuspidi angolarmente equidistanziate. Nel caso particolare in cui il rapporto n è pari a 2, l'ipocicloide è una linea retta. Il meccanismo ipoci-

cicloidale utilizzato nel gruppo elastico 18 è proprio di questo tipo e viene in particolare utilizzato per convertire il moto rotatorio relativo fra un organo rotante d'ingresso (corrispondente al cerchio di raggio minore) e un organo rotante di uscita (corrispondente al cerchio di raggio maggiore) in moto traslatorio di una biella 82 collegata a un'estremità della molla 80. Più specificamente, l'organo rotante d'ingresso del meccanismo ipocicloidale è torsionalmente accoppiato, per il tramite del gruppo riduttore 14 e del gruppo differenziale 16 (ove presente), all'albero motore 26, mentre l'organo rotante di uscita del meccanismo ipocicloidale è torsionalmente accoppiato all'organo di uscita finale 20, in maniera tale per cui una rotazione relativa fra l'organo di uscita finale 20 e l'albero motore 26 viene convertita dal meccanismo ipocicloidale in movimento traslatorio della biella 82, e quindi in deformazione della molla 80.

Da un punto di vista costruttivo, nella forma di realizzazione qui proposta il meccanismo ipocicloidale comprende fondamentalmente, oltre alla suddetta biella 82, un albero 84, un insieme ruota dentata 86, un insieme corona dentata 88 e un corpo 90 cui è rigidamente collegato a rotazione l'organo

di uscita finale 20. L'albero 84 si estende con il proprio asse parallelamente all'asse di rotazione x , a una certa distanza rispetto ad esso, ed è fissato a una sua estremità (estremità di sinistra, rispetto all'osservatore della figura 3) all'organo di supporto 74 del gruppo differenziale 16. L'albero 84 ruota quindi solidalmente alla corona a dentatura interna 68 del gruppo differenziale 16, descrivendo con il proprio asse una circonferenza intorno all'asse di rotazione x . L'albero 84 è supportato all'estremità opposta da una piastra 92 che è supportata in modo girevole rispetto al corpo 90 per mezzo di un cuscinetto 94. Il corpo 90 è montato girevole rispetto all'involucro 56 del gruppo riduttore 14 e del gruppo differenziale 16 per mezzo di un cuscinetto 96 ed è rigidamente collegato a rotazione alla ruota solare 66 del gruppo differenziale 16. L'insieme corona dentata 88 comprende due corone a dentatura interna 88a e 88b aventi il medesimo numero di denti e un organo distanziale 98 che è assialmente interposto fra le due corone a dentatura interna 88a e 88b ed è rigidamente collegato a rotazione a queste. L'organo distanziale 98 presenta almeno una finestra 100 attraverso cui si estende radialmente la biella 82. L'insieme corona

dentata 88 è fissato al corpo 90 ed è disposto con il proprio asse coincidente con l'asse di rotazione x. L'insieme ruota dentata 86 comprende due ruote dentate 86a e 86b aventi il medesimo numero di denti e un organo distanziale 102 che è assialmente interposto fra le due ruote dentate 86a e 86b ed è rigidamente collegato a rotazione a queste. L'insieme ruota dentata 86 è montato liberamente girevole sull'albero 84. Le ruote dentate 86a e 86b ingranano rispettivamente con le corone a dentatura interna 88a e 88b e hanno un numero di denti pari alla metà di quello delle corone a dentatura interna 88a e 88b. L'organo distanziale 102 dell'insieme ruota dentata 86 è incernierato a un'estremità (estremità prossimale) della biella 82 mediante un perno d'incernieramento 104, il cui asse è posizionato esattamente sulla circonferenza primitiva delle ruote dentate 86a e 86b. Grazie alla configurazione sopra descritta, il meccanismo ipocicloidale produce, per effetto di una rotazione relativa fra l'organo di uscita finale 20 (che è rigidamente collegato a rotazione, tramite il corpo 90, all'insieme corona dentata 88) e l'albero motore 26 (che è collegato a rotazione con un dato rapporto di trasmissione, tramite il gruppo riduttore 14 e il

gruppo differenziale 16, all'albero 84), uno spostamento dell'asse del perno d'incernieramento 104 lungo una direzione di deformazione y passante per l'asse di rotazione x e perpendicolare a tale asse.

Il gruppo elastico 18 comprende inoltre un encoder ottico 106, o altro tipo di sensore di posizione angolare (quale ad esempio un potenziometro, un sensore a effetto Hall, ecc.), predisposto per rilevare la posizione angolare relativa dell'organo di uscita finale 20 rispetto alla piastra 92, e quindi all'albero 84. Secondo la forma di realizzazione proposta, quindi, la posizione angolare assoluta dell'organo di uscita finale 20 viene misurata non direttamente, bensì indirettamente a partire dalle misure fornite dai sensori 46 e 106.

Con riferimento in particolare alle figure 1, 3 e 4, la molla 80 del gruppo elastico 18 è accolta in un involucro 108 che è fissato al corpo 90. Nella forma di realizzazione proposta, la molla 80 è una molla elicoidale orientata con il proprio asse lungo la direzione di deformazione y e l'involucro 108 è un corpo tubolare di asse orientato lungo la direzione di deformazione y . La molla 80 è collegata da un lato all'estremità distale della biella 82 e dal lato opposto a un organo di tensionamento 110

azionabile dall'operatore per variare il precarico della molla 80. L'organo di tensionamento 110 è ad esempio realizzato come asta filettata e s'impegna in un foro filettato previsto in un coperchio 112 che è montato liberamente girevole all'estremità distale dell'involucro 108 e funziona da madre vite, in maniera tale per cui ruotando in un verso o nell'altro il coperchio 112 si produce uno spostamento in un verso o nell'altro dell'organo di tensionamento 110 lungo la direzione di deformazione y e quindi un aumento o una riduzione del precarico della molla 80. Un dado di bloccaggio 114 è avvitato sulla porzione filettata dell'organo di tensionamento 110 per serrare l'organo di tensionamento 110 contro il coperchio 112 e impedire così rotazioni relative non volute fra questi due componenti una volta impostato il precarico desiderato. Il gruppo modulo elastico 20 comprende inoltre una cella di carico 116, o altro sensore di misura della forza, predisposta per misurare la forza di trazione con cui è sollecitata la molla 80.

Il principio di funzionamento del meccanismo ipocicloidale sopra descritto è schematicamente illustrato nel diagramma della figura 11. In tale figura, l'insieme ruota dentata 86 e l'insieme corona

dentata 88 sono rispettivamente rappresentati come un cerchio di raggio r (di qui in avanti indicato per semplicità come cerchio minore) e come un cerchio di raggio $2r$ (di qui in avanti indicato per semplicità come cerchio maggiore). Il cerchio maggiore è rappresentato come cerchio stazionario, mentre il cerchio minore rotola senza strisciare lungo il perimetro del cerchio maggiore. L'angolo di rotazione relativa fra l'organo d'ingresso (albero 84) e l'organo di uscita (corpo 90, cui è rigidamente collegato a rotazione l'organo di uscita finale 20) del meccanismo ipocicloidale è indicato nella figura 11 con ϑ e sarà di qui in avanti citato semplicemente come angolo di deflessione. Nel modello della figura 11, l'angolo di deflessione ϑ corrisponde all'angolo fra la direzione di deformazione y e la direzione congiungente i centri dei due cerchi maggiore e minore. La molla 80 è illustrata come avente un'estremità (estremità inferiore) stazionaria e l'altra estremità (estremità superiore) attaccata a un punto P del cerchio minore. La traiettoria rettilinea (direzione di deformazione y) lungo cui si muove il punto P è rappresentata con linea a tratti. Con l_0 , p e d sono rispettivamente indicati la lunghezza libera, il precarico e

la deformazione (allungamento) della molla 80. Il movimento di rotolamento del cerchio minore all'interno del cerchio maggiore viene convertito in movimento di traslazione del punto P lungo la direzione di deformazione y , la deformazione d della molla 80 essendo pari allo spostamento del punto P lungo la direzione y . A tale proposito, è da notare che partendo dalla condizione di deflessione nulla ($\vartheta = 0$), una deflessione positiva o negativa (cioè una rotazione angolare relativa fra l'albero 84 e l'organo di uscita finale 20, in un verso o nell'altro produce sempre una deformazione d della molla 80 nel verso dell'allungamento. La forza elastica generata dalla molla 80 a seguito della deformazione d produce una coppia elastica T intorno al centro del cerchio maggiore, cioè intorno all'asse di rotazione x dell'attuatore, che varia in funzione dell'angolo di deflessione ϑ secondo la seguente relazione:

$$T(\vartheta) = K \cdot 2r \cdot \sin \vartheta \cdot (2r \cdot (1 - \cos \vartheta) + p),$$

dove K è la rigidezza della molla 80.

La relazione sopra riportata fra la coppia elastica T e l'angolo di deflessione ϑ è rappresentata nel grafico della figura 12 per alcuni valori del precarico p . Come si può notare da tale grafi-

co, il meccanismo ipocicloidale produce una coppia positiva per valori dell'angolo di deflessione ϑ compresi fra -2 e $+2$ radianti, cioè fra -120° e $+120^\circ$. L'intervallo di $\pm 120^\circ$ dell'angolo di deflessione ϑ viene dimezzato con l'utilizzo del gruppo differenziale 16 sopra descritto. Ovviamente, tale intervallo può essere ulteriormente ridotto, ad esempio di un fattore 3, mediante opportuna progettazione del gruppo differenziale. Il gruppo differenziale 16 potrebbe anche essere omissivo, ove un intervallo di $\pm 120^\circ$ dell'angolo di deflessione ϑ fosse ritenuto accettabile e si volesse privilegiare la riduzione di peso e di costo complessivi dell'attuatore risultante dall'eliminazione di tale gruppo.

Alla luce della descrizione sopra fornita risultano evidenti i vantaggi offerti da un attuatore rotante elastico secondo la presente invenzione.

L'angolo di deflessione che l'attuatore consente di ottenere (anche mentre l'organo di uscita finale 20 ruota in modo continuo) varia in un intervallo molto ampio, che come detto in precedenza può arrivare sino a $\pm 60^\circ$.

L'utilizzo di un gruppo di riduzione di tipo epicicloidale in combinazione con un meccanismo di

tipo ipocicloidale per produrre una deformazione elastica non lineare dei mezzi elastici (molla 80) consente di minimizzare l'inerzia riflessa dell'attuatore.

L'utilizzo come mezzi elastici di una singola molla in grado di immagazzinare energia indipendentemente dal verso di deflessione garantisce un funzionamento simmetrico dell'attuatore in entrambi i versi di rotazione e consente di minimizzare il peso complessivo dell'attuatore.

L'elevata deformazione della molla ottenibile con l'utilizzo di un meccanismo ipocicloidale consente di immagazzinare un'elevata quantità di energia elastica (che cresce con il quadrato della deformazione), senza tuttavia generare forze elastiche eccessive (dato che la forza elastica aumenta proporzionalmente alla deformazione).

L'utilizzo di un organo di tensionamento per variare il precarico della molla consente di variare l'andamento non lineare della deformazione della molla in funzione dell'angolo di deflessione e di variare la rigidità dell'attuatore.

L'integrazione del meccanismo ipocicloidale con il rotismo epicicloidale del gruppo differenziale, o in assenza di gruppo differenziale con il

rotismo epicicloidale del gruppo riduttore, consente di ottenere un attuatore molto compatto.

Il fatto di utilizzare un sensore di posizione angolare (encoder ottico 106) che misura direttamente la posizione angolare relativa dell'organo di uscita finale 20 rispetto all'albero 84, cioè misura direttamente l'angolo di deflessione ϑ , permette di ottenere una misura più accurata della coppia sull'organo di uscita finale 20 rispetto al caso in cui fosse utilizzato un sensore di posizione angolare predisposto per misurare la posizione angolare assoluta (riferita cioè alla parte stazionaria dell'attuatore, rappresentata dall'insieme degli involucri 28 e 56) dell'organo di uscita finale 20.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, le forme di attuazione e i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto e illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo fuoriuscire dall'ambito dell'invenzione come definito nelle annesse rivendicazioni.

Ad esempio, come già detto in precedenza, il gruppo differenziale potrebbe essere omesso, nel qual caso l'albero 84 del gruppo elastico 18 sareb-

be rigidamente collegato a rotazione al portatreno 62 del gruppo riduttore 14.

La configurazione dei rotismi utilizzati per il gruppo riduttore 14 e per il gruppo differenziale 16 potrebbe ovviamente essere diversa da quella qui descritta e illustrata.

Come ulteriore variante, potrebbe essere previsto un dispositivo di azionamento (quale ad esempio un motore elettrico lineare o un motore elettrico rotante associato a un meccanismo di conversione del moto quale un meccanismo a vite e madre-vite) predisposto per comandare l'organo di tensionamento e variare così in modo attivo e controllabile il precarico della molla.

Come motore potrebbe essere previsto, al posto di un motore rotante elettrico, un motore rotante di altro tipo, ad esempio idraulico, pneumatico, ecc.

Come mezzo elastico potrebbe essere previsto, al posto di una molla elicoidale, una molla o mezzo elastico di altro tipo, quale ad esempio una molla di compressione, una rondella ondulata, un elastico, una molla ad aria, ecc.

RIVENDICAZIONI

1. Attuatore rotante (10) comprendente:

un organo di uscita finale (20) girevole intorno a un asse di rotazione (x);

un gruppo motore (12) predisposto per comandare in rotazione l'organo di uscita finale (20) intorno a detto asse di rotazione (X); e

un gruppo elastico (18) interposto fra il gruppo motore (12) e l'organo di uscita finale (20) e avente un organo d'ingresso (84) torsionalmente accoppiato al gruppo motore (12) e un organo di uscita (88) rigidamente collegato a rotazione all'organo di uscita finale (20),

in cui il gruppo elastico (18) comprende mezzi elastici (80) e mezzi di deformazione (82, 84, 86, 88) predisposti per deformare elasticamente detti mezzi elastici (80) a seguito di una rotazione relativa (ϑ) fra l'organo d'ingresso (84) del gruppo elastico (18) e l'organo di uscita finale (20) intorno a detto asse di rotazione (x), in maniera tale per cui la deformazione di detti mezzi elastici (80) varia in modo non lineare in funzione di detta rotazione relativa (ϑ), e

in cui detti mezzi di deformazione (82, 84, 86, 88) sono configurati come meccanismo ipocicloidale pre-

disposto per convertire detta rotazione relativa (ϑ) in deformazione di detti mezzi elastici (80) lungo una direzione di deformazione (y).

2. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi di deformazione (82, 84, 86, 88) comprendono un albero (84) quale organo d'ingresso del gruppo elastico (18), un insieme corona dentata (88) quale organo di uscita del gruppo elastico (18), un insieme ruota dentata (86) e un organo di azionamento (82) collegato a detti mezzi elastici (80),

in cui l'albero (84) si estende con il proprio asse parallelamente a detto asse di rotazione (x), a una certa distanza rispetto ad esso,

in cui l'insieme corona dentata (88) comprende almeno una corona a dentatura interna (88a, 88b) di asse coincidente con detto asse di rotazione (x),

in cui l'insieme ruota dentata (86) comprende almeno una ruota dentata (86a, 86b) montata liberamente girevole sull'albero (84) e ingranante con detta almeno una corona a dentatura interna (88a, 88b),

in cui detta almeno una ruota dentata (86a, 86b) ha un numero di denti pari alla metà di quello di detta almeno una corona a dentatura interna (88a, 88b), e

in cui l'organo di azionamento (82) è incernierato (104) a una sua estremità prossimale all'insieme ruota dentata (86) intorno a un asse di incernieramento posizionato sulla circonferenza primitiva di detta almeno una ruota dentata (86a, 86b), in maniera tale per cui a seguito della rotazione dell'albero (84), e quindi dell'insieme ruota dentata (86), rispetto all'insieme corona dentata (88), e quindi rispetto all'organo di uscita finale (20), l'asse di incernieramento fra l'organo di azionamento (82) e l'insieme ruota dentata (86) si muove lungo detta direzione di deformazione (y).

3. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 2, in cui l'insieme corona dentata (88) comprende due corone a dentatura interna (88a, 88b) aventi il medesimo numero di denti e un organo distanziale (98) assialmente interposto fra le due corone a dentatura interna (88a, 88b) e rigidamente collegato a rotazione a queste,

in cui l'insieme ruota dentata (86) comprende due ruote dentate (86a, 86b) aventi il medesimo numero di denti e ingrananti ciascuna con una rispettiva corona a dentatura interna (88a, 88b) dell'insieme corona dentata (88), e un organo distanziale (102) assialmente interposto fra le due ruote dentate

(86a, 86b) dell'insieme ruota dentata (86) ed è rigidamente collegato a rotazione a queste, e in cui in cui l'organo di azionamento (82) è incernierato (104) all'organo distanziale (102) dell'insieme ruota dentata (86).

4. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 2 o la rivendicazione 3, in cui il gruppo elastico (18) comprende inoltre un sensore di posizione angolare (106) predisposto per misurare detta rotazione relativa (θ).

5. Attuatore rotante secondo una qualsiasi delle rivendicazioni dalla 2 alla 4, in cui detti mezzi elastici (80) comprendono una molla elicoidale disposta con il proprio asse lungo detta direzione di deformazione (y).

6. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 5, in cui l'organo di azionamento (82) è un'asta estendentesi lungo detta direzione di deformazione (y).

7. Attuatore rotante secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui in cui il gruppo elastico (18) comprende inoltre mezzi di regolazione del precarico (110, 112) predisposti per regolare il precarico di detti mezzi elastici (80).

8. Attuatore rotante secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un gruppo riduttore (14) interposto fra il gruppo motore (12) e l'organo d'ingresso (84) del gruppo elastico (18) per operare una riduzione di velocità, secondo un dato rapporto di riduzione, fra un organo di uscita (44) del gruppo motore (12) e l'organo d'ingresso (84) del gruppo elastico (18).

9. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 8, comprendente inoltre un gruppo differenziale (16) interposto fra il gruppo riduttore (14) e l'organo d'ingresso (84) del gruppo elastico (18), per operare una moltiplicazione di velocità, secondo un dato rapporto di moltiplicazione, fra un organo di uscita (62) del gruppo riduttore (14) e l'organo d'ingresso (84) del gruppo elastico (18).

10. Attuatore rotante secondo la rivendicazione 8 o la rivendicazione 9, in cui il gruppo riduttore (14) e, ove presente, il gruppo differenziale (16) sono realizzati come rotismi epicicloidali.

CLAIMS

1. Rotary actuator (10) comprising:

a final output member (20) rotatable about an axis of rotation (x);

a motor unit (12) arranged to drive the final output member (20) for rotation about said axis of rotation (X); and

an elastic unit (18) interposed between the motor unit (12) and the final output member (20) and having an input member (84) torsionally coupled to the motor unit (12) and an output member (88) rigidly connected for rotation with the final output member (20),

wherein the elastic unit (18) comprise elastic means (80) and deforming means (82, 84, 86, 88) arranged to elastically deform said elastic means (80) as a result of a relative rotation (ϑ) between the input member (84) of the elastic unit (18) and the final output member (20) about said axis of rotation (x), whereby the deformation of said elastic means (80) changes in a non-linear way with said relative rotation (ϑ), and

wherein said deforming means (82, 84, 86, 88) are configured as a hypocycloid mechanism arranged to convert said relative rotation (ϑ) into deformation

of said elastic means (80) along a direction of deformation (y).

2. Rotary actuator according to claim 1, wherein said deforming means (82, 84, 86, 88) comprise a shaft (84) as input member of the elastic unit (18), a ring gear assembly (88) as output member of the elastic unit (18), a gearwheel assembly (86) and an actuating member (82) connected to said elastic means (80),

wherein the shaft (84) extends with its own axis parallel to said axis of rotation (x) at a certain distance from it,

wherein the ring gear assembly (88) comprises at least one interior tooth ring gear (88a, 88b), the axis of which coincides with said axis of rotation (x),

wherein the gearwheel assembly (86) comprises at least one gearwheel (86a, 86b) idly mounted on the shaft (84) and meshing with said at least one interior tooth ring gear (88a, 88b),

wherein said at least one gearwheel (86a, 86b) has a number of teeth which is half the number of teeth of said at least one interior tooth ring gear (88a, 88b), and

wherein the actuating member (82) is hinged (104)

at a proximal end thereof to the gearwheel assembly (86) about a hinge axis positioned on the pitch circle of said at least one gearwheel (86a, 86b), whereby as a result of the rotation of the shaft (84), and hence of the gearwheel assembly (86), relative to the ring gear assembly (88), and hence relative to the final output member (20), the hinge axis about which the actuating member (82) is hinged to the gearwheel assembly (86) moves along said direction of deformation (y).

3. Rotary actuator according to claim 2, wherein the ring gear assembly (88) comprises two interior tooth ring gears (88a, 88b) having the same number of teeth and a spacer member (98) axially interposed between the two interior tooth ring gears (88a, 88b) and rigidly connected for rotation therewith,

wherein the gearwheel assembly (86) comprises two gearwheels (86a, 86b) having the same number of teeth and meshing each with a respective interior tooth ring gear (88a, 88b) of the ring gear assembly (88), and a spacer member (102) axially interposed between the two gearwheels (86a, 86b) of the gearwheel assembly (86) and rigidly connected for rotation therewith, and

wherein the actuating member (82) is hinged (104) to the spacer member (102) of the gearwheel assembly (86).

4. Rotary actuator according to claim 2 or claim 3, wherein the elastic unit (18) further comprises an angular position sensor (106) arranged to measure said relative rotation (ϑ).

5. Rotary actuator according to any of claims 2 to 4, wherein said elastic means (80) comprise a helical spring arranged with its own axis along said direction of deformation (y).

6. Rotary actuator according to claim 5, wherein the actuating member (82) is a rod extending along said direction of deformation (y).

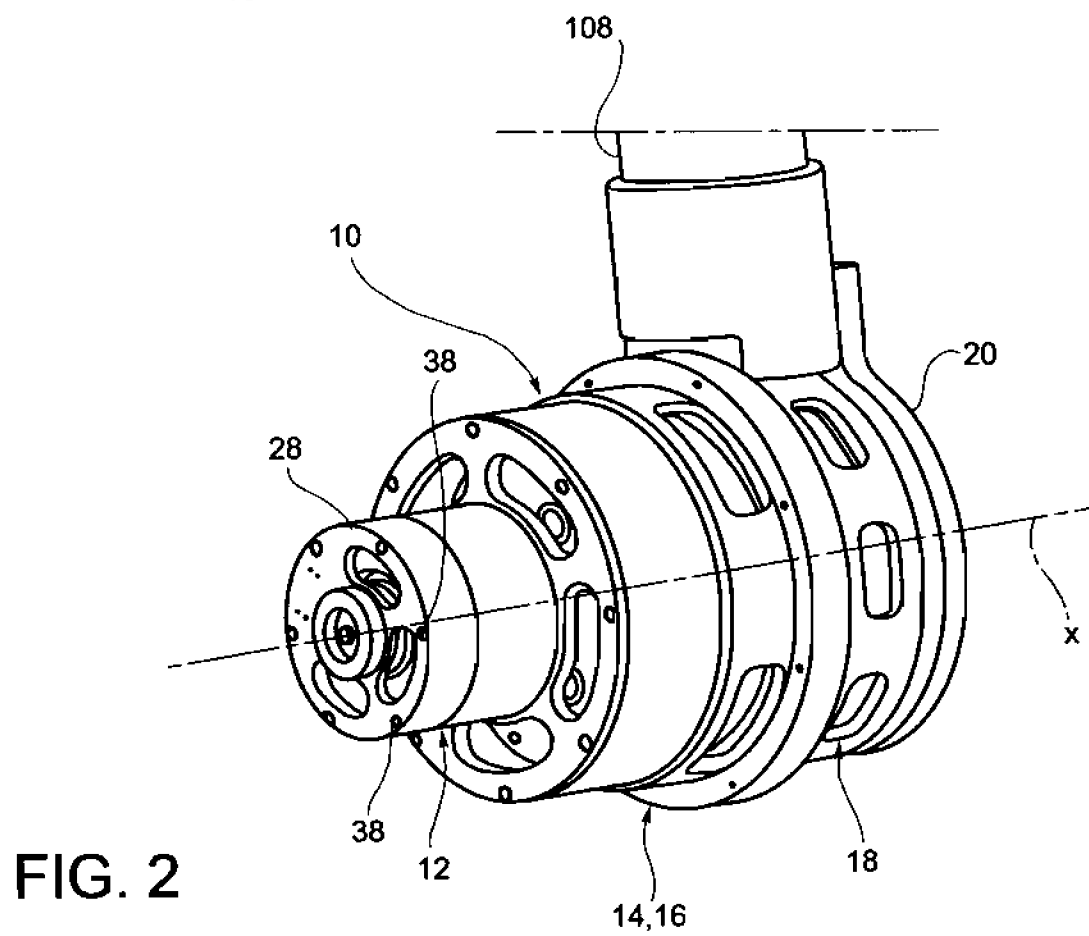
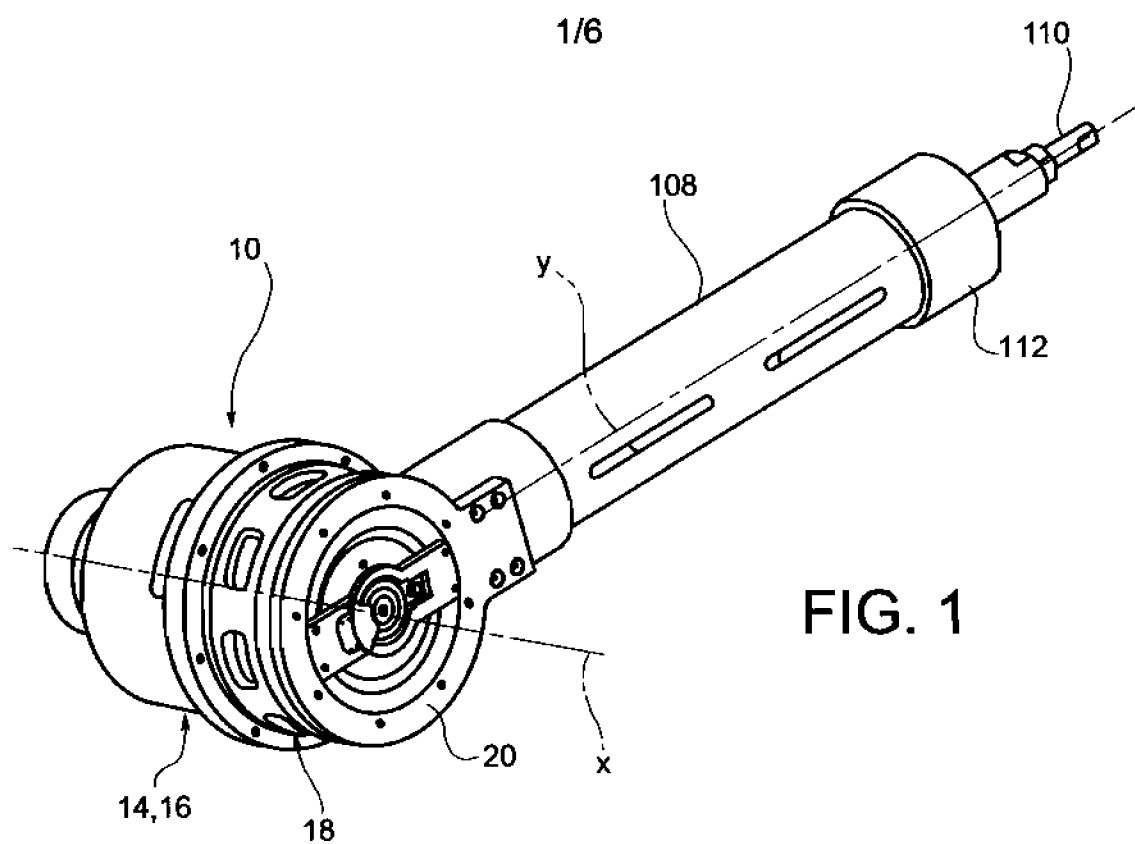
7. Rotary actuator according to any of the preceding claims, wherein the elastic unit (18) further comprises preload adjusting means (110, 112) arranged to adjust the preload of said elastic means (80).

8. Rotary actuator according to any of the preceding claims, further comprising a reduction unit (14) interposed between the motor unit (12) and the input member (84) of the elastic unit (18) to reduce the speed, based on a given reduction ratio, of an output member (44) of the motor unit (12)

relative to the input member (84) of the elastic unit (18).

9. Rotary actuator according to claim 8, further comprising a differential unit (16) interposed between the reduction unit (14) and the input member (84) of the elastic unit (18), to multiply the speed, based on a given multiplication ratio, of an output member (62) of the reduction unit (14) relative to the input member (84) of the elastic unit (18).

10. Rotary actuator according to claim 8 or claim 9, wherein the reduction unit (14) and the differential unit (16), if any, are made as planetary gears.



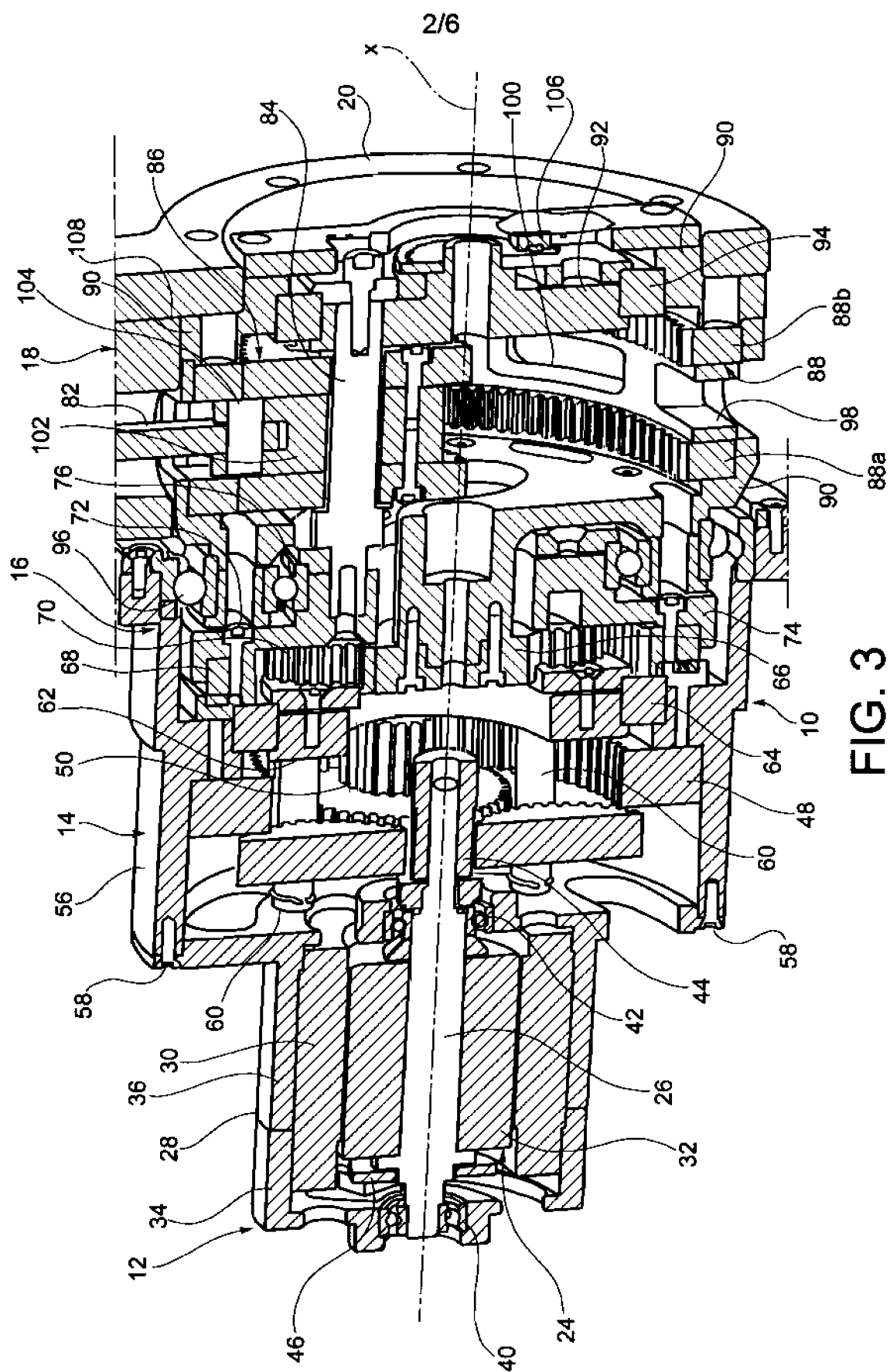
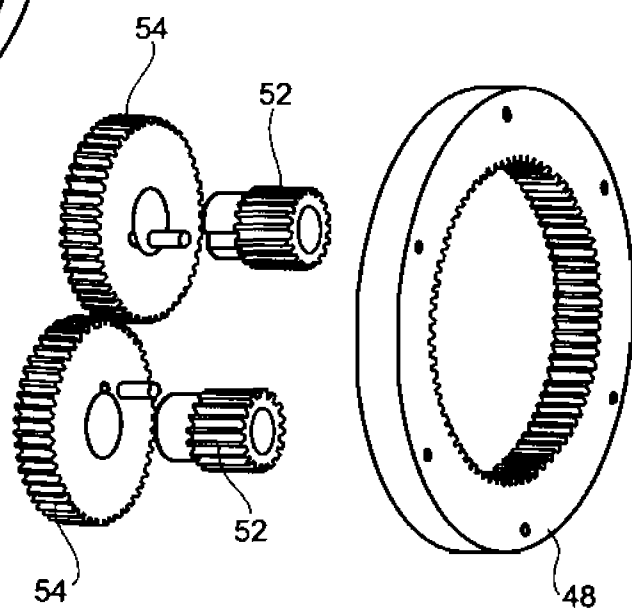
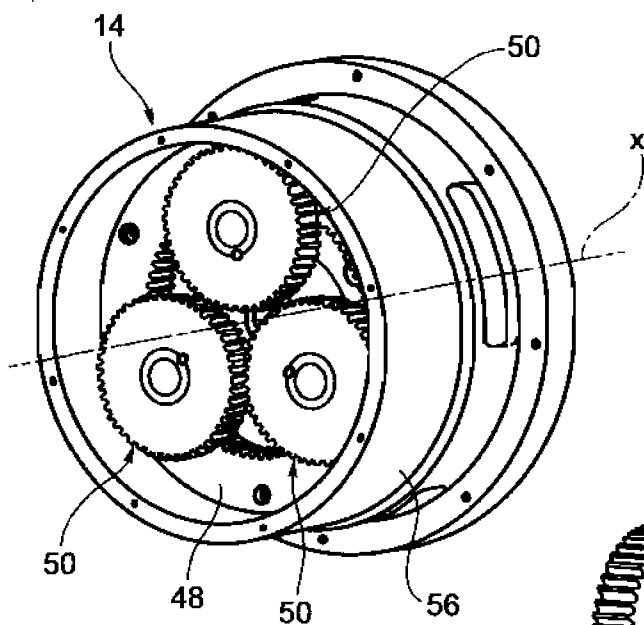
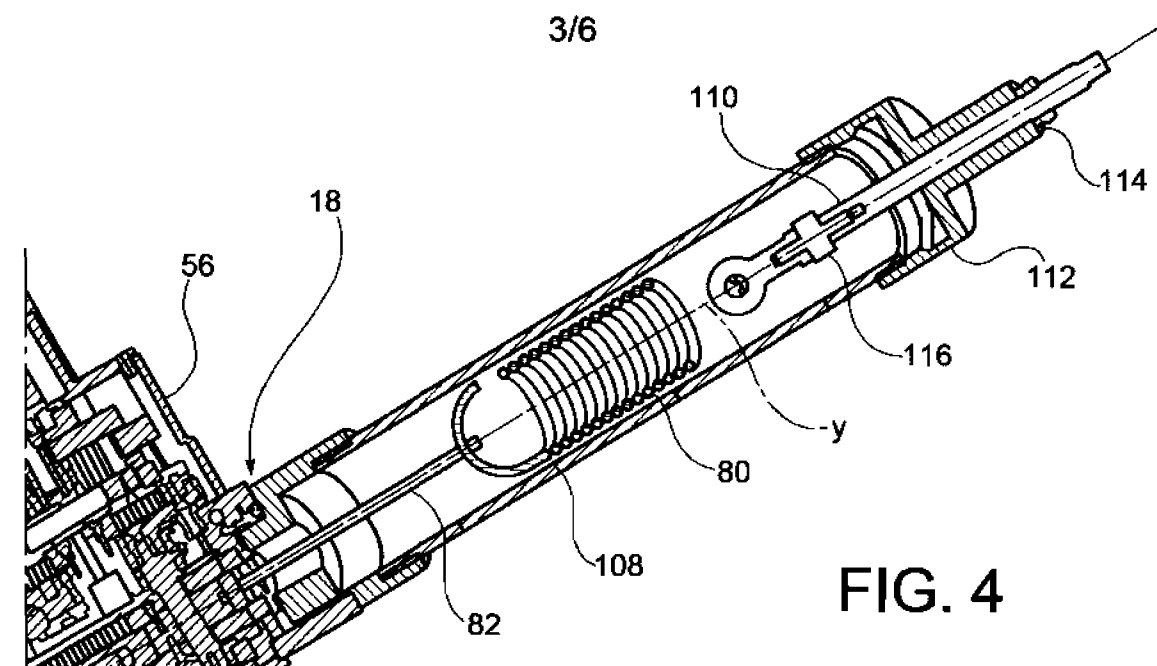


FIG. 3



4/6

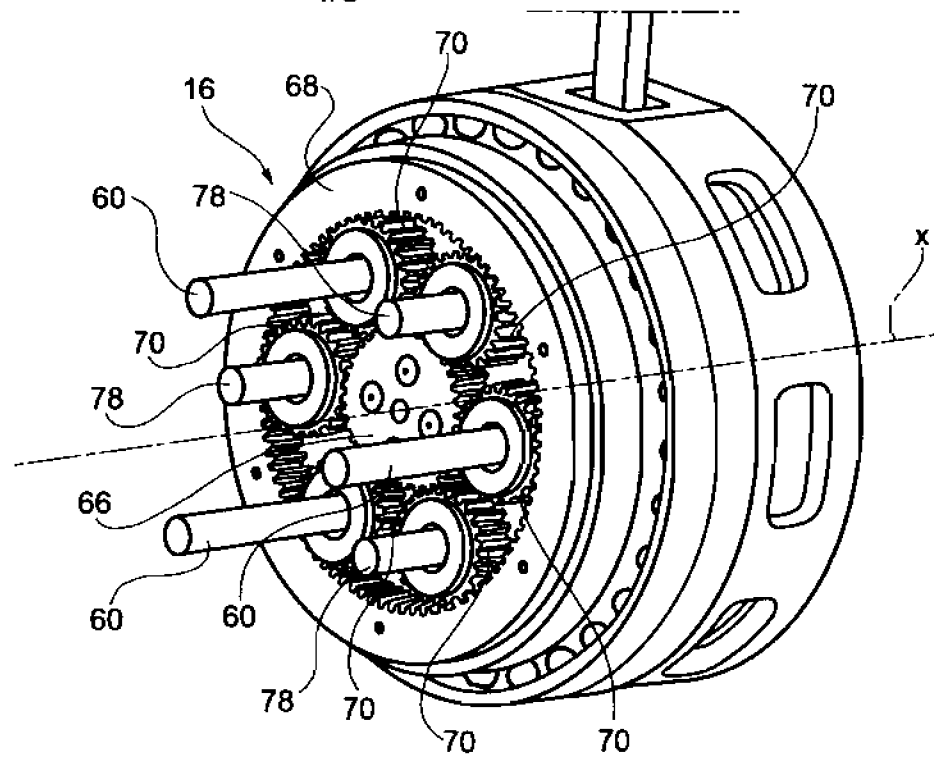


FIG. 7

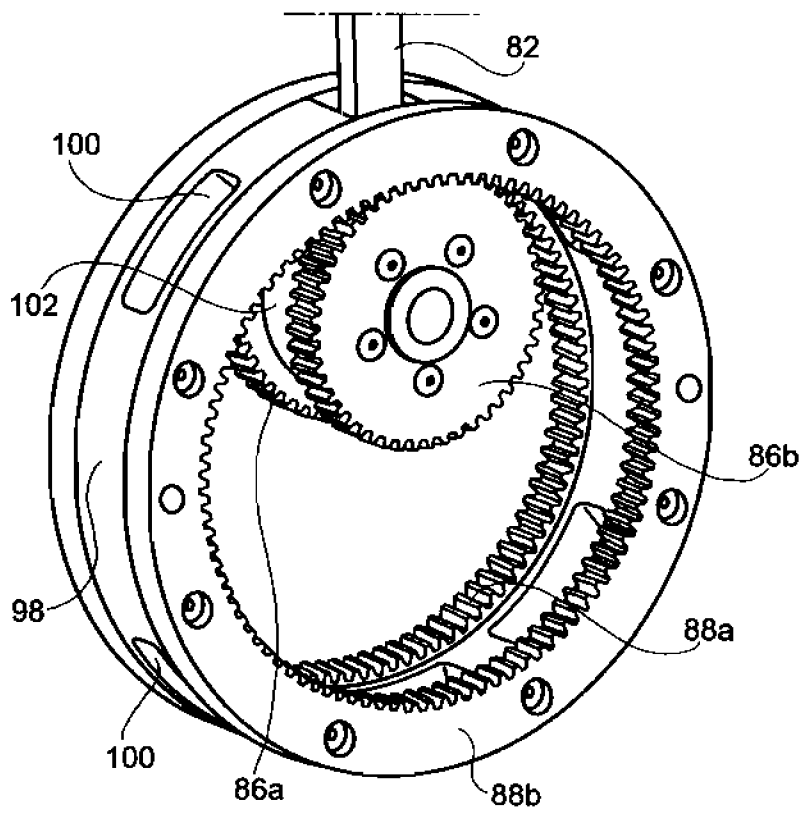
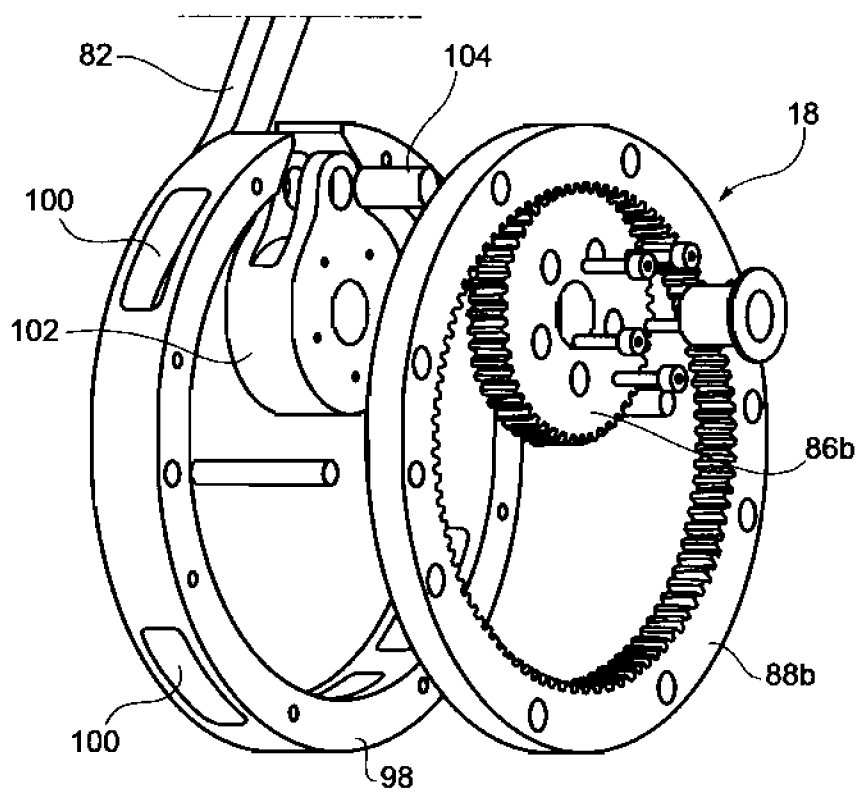
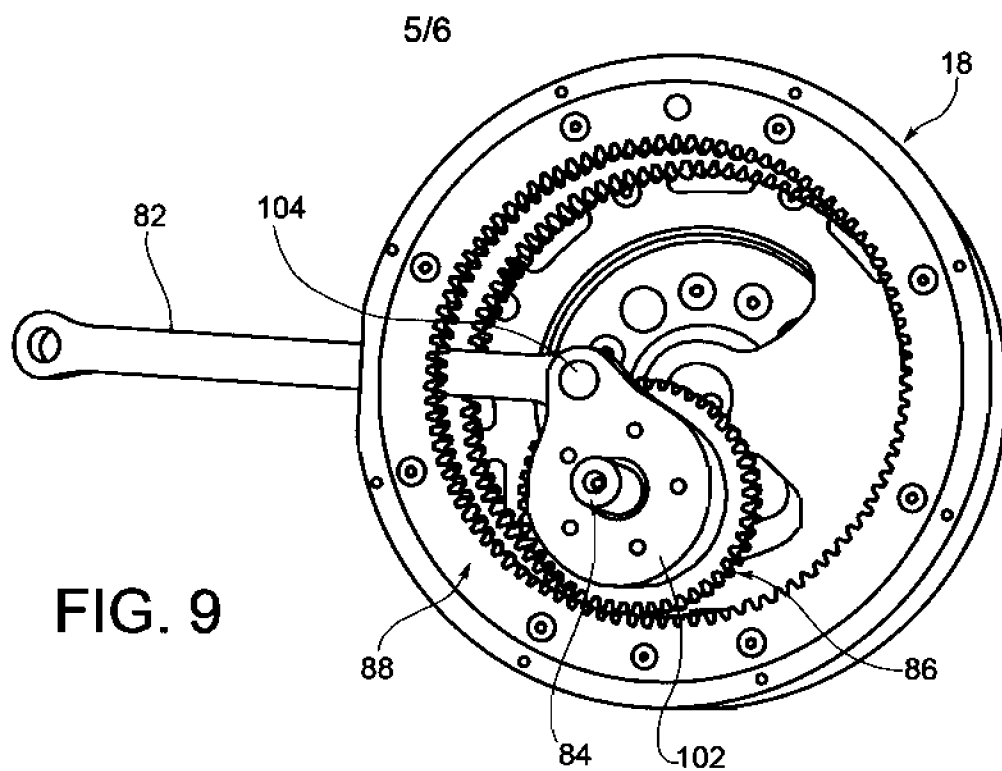


FIG. 8



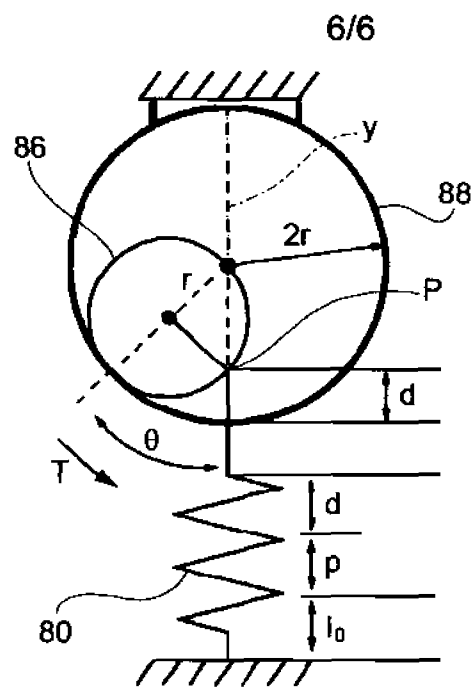


FIG. 11

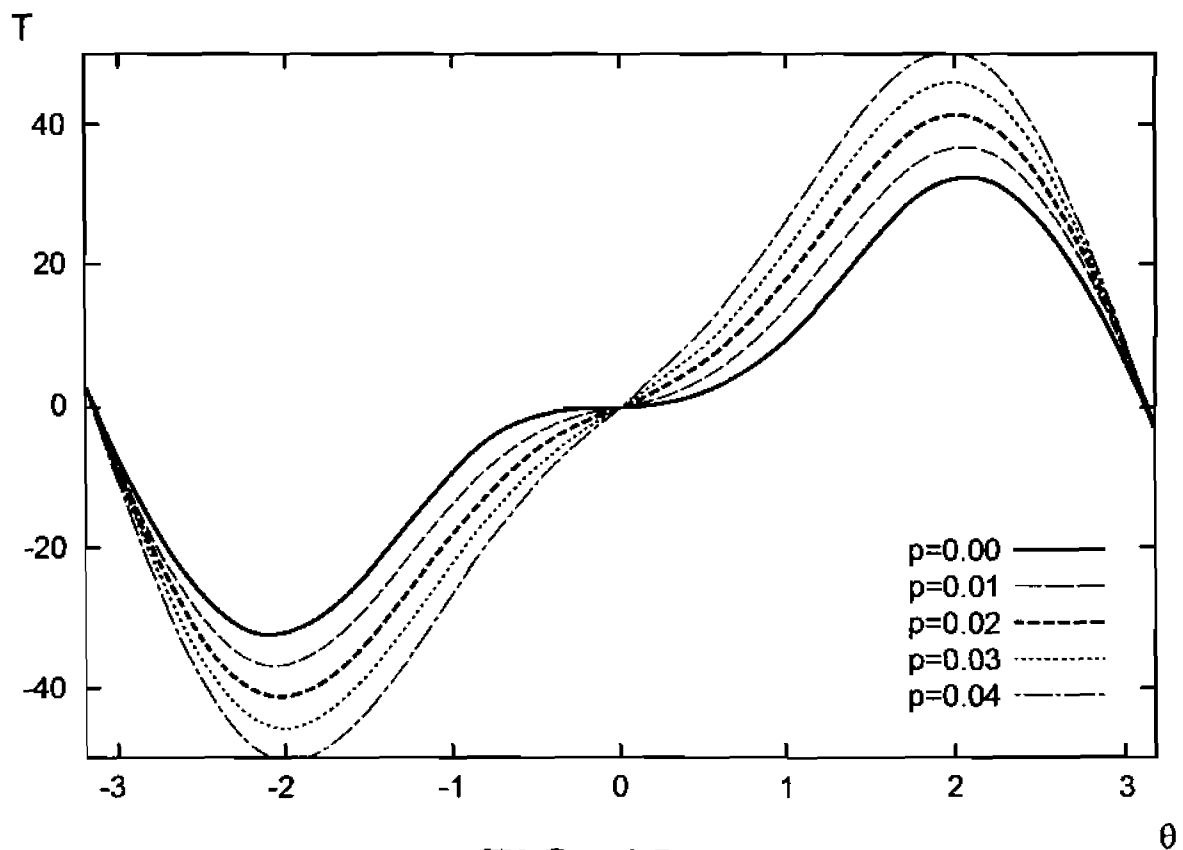


FIG. 12