

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901821391A1

Publication Date

20110919

Applicant

FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA

Title

PESCE ROBOT E METODO DI CONTROLLO PER DETTO ROBOT

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

I0139215

"Pesce robot e metodo di controllo per detto robot"

di: FONDAZIONE ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA, nazionalità italiana, Via Morego 30, 16163 GENOVA

Inventori designati: Teodor Akinfiev, Jean-Guy Fontaine

Depositata il: 19 Marzo 2010

* * *

DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

L'invenzione si riferisce al campo dell'ingegneria robotica, in particolare a robot di superficie e subacquei, e riguarda processi meccanici e di controllo.

Tecnica nota

Sono noti pesci robot che comprendono un motore elettrico fissato al corpo del robot e cinematicamente collegato ad un elemento attuatore imperniato sul corpo del robot, ed un sistema di controllo, collegato al motore e fornito di sensori e di una sorgente di potenza, il corpo estremo del robot essendo simmetrico rispetto al piano verticale (JP 2006326053, CN 201240497, CN 100465065). Uno svantaggio delle soluzioni tecniche note è dato dalla complessità del progetto del pesce robot, e

dall'uso poco efficiente dell'energia, a causa dell'impiego di un elemento attuatore con proprietà lontane dall'ottimale, in particolare per il fatto che una parte significativa dell'energia è spesa per spostare l'acqua in alto e in basso, il che è irrazionale.

La più vicina alla soluzione tecnica ora proposta è una soluzione nota (JP 2002253873), in cui l'energia della sorgente di potenza incorporata nel robot è ancora usata in modo inefficiente, il che riduce la durata di funzionamento autonomo del robot. Per generare una spinta in avanti, il robot usa elementi attuatori che simultaneamente all'azione utile di spingere l'acqua indietro spingono una parte significativa di acqua verso l'alto o il basso, con un dispendio irragionevole di energia. Inoltre, il dispendio di energia è accentuato dal fatto che il motore opera in regime di start-stop, la cui efficienza è molto bassa. Per di più, questa soluzione tecnica è caratterizzata da una notevole complessità, a causa dell'uso di un gran numero di elementi attuatori.

Breve descrizione dell'invenzione

Forma oggetto dell'invenzione un dispositivo pesce robot comprendente un motore elettrico fissa-

to al corpo del robot e cinematicamente connesso ad un elemento attuatore imperniato sul corpo del robot, ed un sistema di controllo, collegato al motore ed equipaggiato con sensori ed una sorgente di potenza, la parte esterna del corpo essendo simmetrica rispetto al piano verticale, in cui il collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore comprende una leva imperniata sul corpo del robot, un meccanismo a biella e manovella in cui la manovella è collegata all'albero del motore e la biella è cinematicamente collegata alla leva, una prima estremità dell'elemento attuatore essendo vincolata alla leva, e la seconda estremità dell'elemento attuatore essendo libera; l'elemento attuatore ha simmetria speculare ed è vincolato alla leva in modo tale che il piano di simmetria dell'elemento attuatore coincide col piano di simmetria della parte esterna del corpo del robot quando la posizione della manovella è tale da formare con la biella un angolo di 90° ; ed il collegamento cinematico tra motore ed elemento attuatore comprende almeno un sensore.

Descrizione del dispositivo

Scopo dell'invenzione è semplificare il progetto di un pesce robot e ridurre il consumo di e-

nergia tramite un più efficiente utilizzo della potenza del motore ed un miglioramento delle caratteristiche dell'elemento attuatore, ed anche creare un algoritmo di controllo che renda possibile l'ottenimento sia di un movimento rettilineo sia di svolte usando un solo motore. Tutto ciò permette di prolungare la durata di funzionamento autonomo del robot.

Per ottenere il risultato esposto, il dispositivo comprende un motore elettrico, fissato al corpo del robot e cinematicamente connesso all'elemento attuatore che è imperniato al corpo del robot, ed un sistema di controllo, collegato al motore e con sensori e sorgente di potenza.

A seconda del tipo di motore elettrico, questo può essere fornito di un riduttore oppure funzionare senza riduttore. La parte esterna del corpo del robot è simmetrica rispetto al piano verticale, ed il collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore comprende una leva imperniata al corpo, una manovella ed una biella, in cui la manovella è collegata all'albero del motore e la biella è cinematicamente collegata alla leva. La prima estremità dell'elemento attuatore è vincolata alla leva, mentre la seconda estremità di detto elemento

attuatore è libera. L'elemento attuatore ha simmetria speculare ed è vincolato alla leva in modo tale che il piano di simmetria di detto elemento attuatore coincide col piano di simmetria della parte esterna del corpo del robot quando la posizione della manovella è tale che l'angolo tra detta manovella e la biella è 90° o 270° .

Il collegamento cinematico tra motore ed elemento attuatore comprende almeno un sensore. La leva può essere a doppio braccio o a singolo braccio. Quando si usa una leva a doppio braccio, la prima estremità dell'elemento attuatore è vincolata ad un braccio della leva, e la biella è collegata all'altro braccio di detta leva. Quando si usa una leva a singolo braccio, sia la biella sia la prima estremità dell'elemento attuatore sono collegate allo stesso braccio di detta leva.

L'elemento attuatore può essere realizzato nella forma di coda del pesce robot o nella forma di una combinazione della parte posteriore del corpo del pesce e della coda.

La presenza di una manovella e della biella aumenta sostanzialmente l'efficienza per diverse ragioni, la principale essendo la presenza di un rapporto di trasmissione variabile tra il motore e

l'elemento attuatore. Quando la manovella e la biella giacciono lungo la stessa retta (entrambe orizzontali), il valore del rapporto di trasmissione tende all'infinito. Ciò corrisponde alla posizione limite dell'elemento attuatore. La posizione centrale dell'elemento attuatore corrisponde ad una posizione della manovella in cui l'angolo tra questa e la biella vale 90° o 270° . Questa posizione è caratterizzata dal rapporto di trasmissione minimo tra motore ed elemento attuatore. Pertanto, vicino alla posizione limite dell'elemento attuatore, quando il carico su di esso è massimo, e la velocità è bassa, il rapporto di trasmissione è sufficientemente elevato da assicurare una forza elevata esercitata sull'elemento attuatore, mentre vicino alla posizione centrale dell'elemento attuatore, quando il carico su di esso è basso, il rapporto di trasmissione diventa pure basso, il che assicura una velocità di movimento dell'elemento attuatore relativamente elevata. Il funzionamento della manovella e della biella in tale sistema è simile al funzionamento di una trasmissione automatica di un'automobile. Un ulteriore vantaggio della trasmissione a manovella e biella nel dispositivo ora considerato è il fatto

che essa rende possibile l'uso della rotazione continua in una sola direzione del motore per ottenere un movimento rotatorio alternativo per l'elemento attuatore mentre, tenendo conto del rapporto di trasmissione variabile, la rotazione del motore avviene virtualmente a velocità costante. Il movimento del motore a velocità costante è caratterizzato da una efficienza massima, confrontato con un movimento rotatorio del motore in direzioni alterne.

In una rotazione dell'albero del motore (o dell'albero del riduttore se esso è montato sul motore) l'elemento attuatore compie un ciclo completo, passando due volte per la posizione centrale, quando l'angolo tra manovella e biella vale 90° o 270° . Se la lunghezza della biella è molto maggiore di quella della manovella, con una velocità di rotazione costante del motore l'elemento attuatore si muove simmetricamente, cioè impiegando esattamente lo stesso tempo in direzione diretta ed inversa. In questo caso, la posizione centrale dell'elemento attuatore deve corrispondere al piano di simmetria del corpo del robot. Con questa disposizione della posizione centrale dell'elemento attuatore, ma con valori simili delle lunghezze della manovella e

della biella, il robot non si muoverà in modo rettilineo con una alimentazione del motore a tensione costante. Questo problema può essere risolto o con l'aiuto di un sistema di controllo, oppure spostando la posizione centrale dell'elemento attuatore dal piano di simmetria del corpo del robot.

Il collegamento cinematico tra la biella e la leva può comprendere un giunto sferico e il collegamento cinematico tra la biella e la manovella può comprendere un giunto cardanico. Il collegamento cinematico tra la biella e la manovella può comprendere un giunto sferico, e il collegamento cinematico tra la biella e la leva può comprendere un giunto cardanico. Questa configurazione permette di evitare carichi di flessione sulla biella e sulla manovella durante la rotazione del motore. E' anche possibile una combinazione di due giunti sferici o di due giunti cardanici invece di un giunto sferico e di un giunto cardanico.

Uno dei sensori del sistema di controllo nella catena cinematica tra motore ed elemento attuatore può essere realizzato nella forma di un sensore dell'angolo tra manovella e biella usando, per esempio, un encoder ottico o un resistore variabile. Un altro sensore del sistema di controllo della ca-

tena cinematica tra motore ed attuatore può avere la forma di un sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore. Il sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore è realizzato in forma di interruttore di fine corsa con molla di richiamo, collegato elettricamente al sistema di controllo, posto tra due terminali di arresto collegati al corpo del robot, e spinti da una molla contro la parte mobile della leva (per esempio, rigidamente connessi al perno della leva).

Uno dei sensori del sistema di controllo può essere realizzato nella forma di un sensore della frequenza di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore. A questo scopo può essere usato un sensore speciale, nella forma di un interruttore di fine corsa montato sul corpo del robot per permettere il contatto con la leva, la biella o l'elemento attuatore al momento in cui uno di questi elementi si trova vicino alle sue posizioni estreme. Invece del sensore speciale del sistema di controllo possono essere usati il sensore di angolo tra la manovella e la biella o il sensore di direzione di movimento dell'elemento attuatore, con un opportuna elaborazione dei segnali forniti da questi sensori.

E' desiderabile che l'elemento attuatore (o una sua parte, quale soltanto la coda) sia reso elastico, in modo tale che la sua resistenza alla flessione rispetto alla sua sezione verticale diminuisca dall'estremità vincolata verso l'estremità libera. Ciò può essere ottenuto variando lo spessore dell'elemento attuatore o aggiungendo speciali rinforzi elastici. Questa scelta permette di aumentare l'efficienza dell'elemento attuatore, poiché durante il funzionamento in acqua l'elemento attuatore si flette e spinge l'acqua all'indietro in misura maggiore che lateralmente. Ciò aumenta significativamente la componente in avanti della spinta che l'elemento attuatore esercita sul corpo del robot.

E' desiderabile che l'elemento attuatore (o una sua parte, quale soltanto la coda) sia reso elastico in modo tale che la sua resistenza alla flessione rispetto alla sua sezione orizzontale diminuisca muovendo dai margini verso il centro. Ciò può essere ottenuto tramite un'opportuna variazione dello spessore dell'elemento attuatore o aggiungendo speciali rinforzi elastici. Questo accorgimento permette di aumentare l'efficienza dell'elemento attuatore per il fatto che durante il funzionamento

in acqua detto elemento attuatore si flette intorno ad un asse orizzontale, ciò che riduce in modo significativo la spinta dell'acqua verso l'alto e verso il basso, e pertanto aumenta la quantità d'acqua spinta all'indietro. Ciò aumenta significativamente la componente in avanti della forza con cui l'elemento attuatore agisce sul corpo del robot.

Se l'elemento attuatore è realizzato nella forma di una combinazione della parte posteriore del corpo del robot e della coda, allora è desiderabile che la coda sia realizzata a rigidità variabile come sopra descritto, e che anche la parte posteriore del corpo del robot sia resa elastica, ma con una rigidità che non obbedisca necessariamente alle condizioni sopra descritte.

Descrizione del funzionamento del dispositivo

Nel corso del funzionamento del robot, al motore è applicata una tensione di polarità costante, quindi il motore gira sempre nello stesso verso. Una tensione U_1 è applicata al motore quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso orario, ed una tensione U_2 è applicata al motore quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso antiorario. La direzio-

ne di movimento dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore può essere determinata per mezzo della nota direzione di movimento del motore e del sensore dell'angolo fra la manovella e la biella (l'angolo tra 90° e 270° corrisponde ad una direzione di movimento dell'elemento attuatore, e l'angolo tra 270° a 360° e quindi a 90° corrisponde alla direzione opposta). Anche un sensore ottico dell'angolo di rotazione del motore può essere usato per determinare la direzione di movimento dell'elemento attuatore, e tramite il rapporto di riduzione noto del riduttore (se questo è usato nel sistema) questo permette al sistema di controllo di determinare l'angolo tra biella e manovella. La direzione di movimento dell'elemento attuatore si può determinare nel modo più semplice per mezzo di un sensore speciale - un sensore della direzione di movimento dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore. In questo caso, quando la leva si muove in una direzione l'attrito spinge il pulsante dell'interruttore di fine corsa contro il terminale di riscontro, che corrisponde per esempio alla posizione di chiusura dei contatti dell'interruttore. Quando la leva si muove nella direzione opposta l'attrito tra la leva e l'interruttore di fine cor-

sa lo sposta verso l'altro terminale di riscontro, il pulsante dell'interruttore cessa di essere premuto ed i contatti dell'interruttore si aprono. Il sistema di controllo rileva lo stato dei contatti (chiusi o aperti) come segnale della direzione di movimento della leva e, di conseguenza, dell'elemento attuatore. Il sistema di controllo fornisce la tensione richiesta al motore in conseguenza di questo segnale.

Le tensioni U_1 e U_2 vengono aumentate simultaneamente per aumentare la velocità di avanzamento del robot, o vengono diminuite simultaneamente per ridurre la velocità del robot.

Nel corso del movimento del robot viene misurata la frequenza di oscillazione f dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore. La frequenza di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore può essere determinata per mezzo del sensore dell'angolo tra biella e manovella, considerando che è trascorso un periodo di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore dal momento in cui detto sensore registra un particolare valore dell'angolo (p.es. 15° o un qualsiasi altro valore) al momento in cui detto sensore registra nuovamente lo stesso angolo. La frequenza di

oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore può essere determinata per mezzo del sensore della direzione di movimento dell'estremità vincolata di detto elemento attuatore. In questo caso il sistema di controllo registra l'istante di chiusura (o di apertura) dei contatti dell'interruttore e misura l'intervallo di tempo fino alla successiva chiusura (o apertura) di detti contatti. Questo tempo corrisponde al periodo di oscillazione dell'elemento attuatore, e la frequenza delle oscillazioni può essere calcolata come l'inverso del periodo di oscillazione.

La necessità di calcolare la frequenza di oscillazione f dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore è collegata al fatto che per ogni tipo di elemento attuatore in acqua esistono delle frequenze critiche di oscillazione f_i^* , e la forma dell'elemento attuatore oscillante cambia sostanzialmente quando la sua frequenza di oscillazione attraversa uno di questi valori. Pertanto, a basse frequenze di oscillazione dell'elemento attuatore, queste oscillazioni avvengono in un primo modo, in cui l'estremità vincolata e l'estremità libera dell'elemento attuatore oscillano in fase (R.E.D. Bishop, *Vibration*. Cambridge University Press,

1965). Quando la frequenza supera il valore critico f_1^* (ma non la seconda frequenza critica f_2^*) le oscillazioni dell'elemento attuatore avvengono nel secondo modo, in cui l'estremità vincolata e quella libera dell'elemento attuatore oscillano in opposizione di fase. Ulteriori aumenti della frequenza portano ad oscillazioni nel terzo modo, e così via. Quando le sue oscillazioni sono nel terzo modo, l'elemento attuatore può essere controllato in maniera simile al primo modo, e nel quarto modo in maniera simile al secondo.

Di norma, se l'elemento attuatore è la coda del pesce robot, è desiderabile che le oscillazioni di detto elemento attuatore siano del primo o del secondo modo. Se, tuttavia, l'elemento attuatore è costituito dalla parte posteriore del corpo del pesce robot insieme alla coda, allora le oscillazioni dell'elemento attuatore possono essere del primo modo o di uno dei successivi.

I valori delle frequenze critiche f_i^* per il movimento dell'elemento attuatore in acqua possono essere calcolati teoricamente o sperimentalmente (per ciascun tipo di elemento attuatore) ed essere inseriti nel sistema di controllo del robot, e possono quindi essere considerati come prestabiliti.

Nel caso in cui la frequenza f di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore sia inferiore alla frequenza critica prestabilita f_1^* di oscillazione dell'elemento attuatore in acqua, allora:

- quando il robot deve muoversi in linea retta, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 = k U_2$, dove k è un valore prestabilito positivo (in particolare, se la lunghezza della manovella è molto minore della lunghezza della biella, allora $k = 1$);

- quando il robot deve svoltare in senso orario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 > k U_2$;

- quando il robot deve svoltare in senso antiorario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 < k U_2$.

Quando la frequenza di oscillazione f dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore è maggiore della frequenza critica prestabilita f_1^* (ma non supera la seconda frequenza critica f_2^*), allora:

- quando il robot deve muoversi in linea retta, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 = k_1 U_2$, dove k_1 è un valore prestabilito posi-

tivo (in particolare, se la lunghezza della manovella è molto minore della lunghezza della biella, allora $k_1=1$);

- quando il robot deve svoltare in senso orario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 < k_1 U_2$;

- quando il robot deve svoltare in senso antiorario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 > k_1 U_2$.

Se le oscillazioni dell'elemento attuatore avvengono in modi di oscillazione successivi, allora per modi di oscillazione di ordine dispari il controllo è simile al controllo per il primo modo, mentre per oscillazioni dell'elemento attuatore secondo modi di oscillazione di ordine pari il controllo è simile al controllo per il secondo modo. In questi casi, un solo motore viene usato per le oscillazioni della parte del corpo del pesce robot, il che semplifica il progetto.

Descrizione delle figure

Per una più completa descrizione dell'invenzione e per una migliore comprensione del dispositivo e del metodo di controllo è fornito nel seguito un esempio di realizzazione, illustrato dalle figure allegate, in cui:

- la figura 1 mostra gli elementi principali del dispositivo oggetto dell'invenzione;

- la figura 2 e la figura 3 mostrano due varianti di realizzazione dell'elemento attuatore del dispositivo di figura 1;

- la figura 4 mostra una parte dell'elemento attuatore nel corso del movimento;

- la figura 5 mostra un sensore della direzione di movimento;

- la figura 6 mostra l'andamento del rapporto di trasmissione del dispositivo di figura 1 in funzione dell'angolo assunto dal meccanismo a biella e manovella del dispositivo;

- la figura 7 mostra l'andamento della tensione applicata al motore elettrico del dispositivo in funzione dell'angolo assunto dal meccanismo a biella e manovella del dispositivo; e

- la figura 8 mostra possibili modi di oscillazione dell'elemento attuatore del dispositivo.

La Fig. 1 mostra gli elementi principali del dispositivo. Il dispositivo comprende un motore elettrico 2, fissato al corpo 1 del robot e cinematicamente collegato all'elemento attuatore 3 che è imperniato al corpo del robot, e un sistema di controllo 4, collegato al motore e con sensori ed una

sorgente di potenza. La parte esterna del corpo del robot è simmetrica rispetto al piano verticale, ed il collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore comprende una leva 5 imperniata al corpo, ed un meccanismo a biella e manovella, in cui la manovella 6 è collegata all'asse del motore e la biella 7 è cinematicamente connessa alla leva. La prima estremità 8 dell'elemento attuatore è vincolata alla leva, mentre la seconda estremità è libera. L'elemento attuatore ha simmetria speculare ed è vincolato alla leva in modo tale che il piano di simmetria di detto elemento attuatore coincide col piano di simmetria della parte esterna del corpo del robot quando la posizione della manovella è tale per cui l'angolo tra biella e manovella vale 90° o 270° . La leva può essere o a braccio singolo o a doppio braccio. Il disegno mostra una leva a doppio braccio. La prima estremità dell'elemento attuatore è vincolata ad un braccio della leva, e la biella è collegata all'altro braccio della leva. Il collegamento cinematico tra biella e leva comprende un giunto sferico 10 ed il collegamento cinematico tra la biella e la manovella comprende un giunto cardanico 11. Uno dei sensori nella catena cinematica tra il motore e l'elemento attuatore

è realizzato nella forma di un sensore 12 dell'angolo tra biella e manovella. Un altro sensore del sistema di controllo nella catena cinematica tra il motore e l'elemento attuatore può essere realizzato nella forma di un sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore 13.

La Fig. 2 mostra l'elemento attuatore 3, realizzato in forma di coda di un pesce robot. La prima estremità 8 dell'elemento attuatore è connessa alla leva 5, e la seconda estremità 9 è libera. Parte dell'elemento attuatore (zona tratteggiata) è elastica, con la sua resistenza alla flessione relativa alla sezione verticale decrescente dall'estremità vincolata all'estremità libera, e con la sua resistenza alla flessione relativa alla sezione orizzontale decrescente dai bordi verso il centro.

La Fig. 3 mostra l'elemento attuatore 3, realizzato in forma di combinazione della coda di un pesce robot e della parte posteriore del corpo del pesce robot. La prima estremità 8 dell'elemento attuatore è collegata alla leva 5, e la seconda estremità 9 è libera. Tutto l'elemento attuatore è elastico. Nella parte tratteggiata dell'elemento attuatore, la resistenza alla flessione rispetto

alla sezione verticale decresce dall'estremità vincolata verso l'estremità libera, e la sua resistenza alla flessione rispetto alla sezione orizzontale diminuisce dai bordi verso il centro.

La Fig. 4 mostra la parte dell'elemento attuatore 3 più vicina alla sua estremità libera 9 nel corso del movimento. La flessione dell'elemento attuatore 3 vicino alla sua estremità libera 9 avviene a causa della resistenza dell'acqua.

La Fig. 5 mostra un sensore della direzione di movimento (sensore indicatore della velocità) della leva 5. Il sensore consiste in un interruttore di fine corsa 14, con una molla di contrasto rispetto al corpo 1 del robot e montato tra riscontri di fine corsa collegati al corpo. L'interruttore di fine corsa 14 è premuto dalla molla contro la parte mobile della leva 5, in questo caso contro il perno della leva rigidamente collegato alla leva 5. L'interruttore è collegato elettricamente al sistema di controllo 4.

La Fig. 6 mostra il rapporto di trasmissione del collegamento cinematico tra motore 2 ed elemento attuatore 3 in funzione dell'angolo tra biella 7 e manovella 6. La dipendenza mostrata corrisponde al caso in cui la lunghezza della biella 7 è molto

maggiore della lunghezza della manovella 6.

La Fig. 7 mostra la dipendenza della tensione applicata al motore elettrico 2 dall'angolo tra biella 7 e manovella 6 quando il pesce robot esegue una svolta.

La Fig. 8 mostra il primo, secondo, terzo e quarto modo di oscillazione dell'elemento attuatore 3. Questi modi sono mostrati nella forma classica; i modi di oscillazione effettivi possono differire alquanto da quelli classici, in particolare per il caso di un elemento attuatore a rigidezza variabile. Una condizione importante è soddisfatta sia per i modi di oscillazione classici che per i modi di oscillazione effettivi: durante le oscillazioni dei modi di ordine dispari l'estremità libera 9 dell'elemento attuatore 3 oscilla in fase con la leva 5, mentre durante le oscillazioni dei modi di ordine pari l'estremità libera 9 oscilla in opposizione di fase rispetto alla leva 5.

Esempio di realizzazione del dispositivo

L'esempio è dato come ulteriore illustrazione della soluzione tecnica proposta e non è da intendersi come limitativo.

Un pesce robot compende un motore elettrico in corrente continua MAXON DC MOTOR 2 con riduttore

1:50, fissato internamente al corpo a tenuta stagna 1 del robot. L'elemento attuatore è realizzato nella forma di coda del pesce robot, la coda essendo imperniata al corpo del robot. Entro il corpo del robot è posto il sistema di controllo 4, basato su un microcontrollore ed elettronica associata. Il sistema di controllo comprende una sorgente di potenza ed una pluralità di sensori, in particolare sensori ad ultrasuoni collegati alla superficie esterna del robot per determinare la direzione di una sorgente esterna di ultrasuoni. La parte esterna del corpo del robot è realizzata simmetrica rispetto al piano verticale.

La manovella 6 è montata sull'albero del riduttore ed è incernierata alla biella 7 in modo che questo collegamento forma di fatto un giunto cardanico con due assi mutuamente perpendicolari, con la manovella 6 che forma uno di essi. La biella 7 è collegata alla sua seconda estremità ad un braccio della leva a due bracci 5, che è rigidamente montata su un perno, che è a sua volta inserito in una corrispondente boccia fissata al corpo. La leva 5 è quindi imperniata sul corpo del robot. Il collegamento tra biella 7 e leva 5 è realizzato in forma di giunto sferico. La distanza

dall'asse del riduttore all'asse della manovella 6 (ovvero, che è lo stesso, la lunghezza della manovella) è 5 mm. La lunghezza della biella tra i giunti è 25 cm. La lunghezza della biella 7 può essere quindi considerata molto maggiore della lunghezza della manovella 6.

La prima estremità 8 dell'elemento attuatore 3 è vincolata alla leva, mentre la seconda estremità 9 di detto elemento attuatore 3 è libera. La coda del pesce robot è usata come elemento attuatore. L'elemento attuatore è realizzato in plastica e comprende una lamina principale spessa 2 mm, alla quale sono fissati su ciascun lato 4 fogli sagomati di rinforzo. L'elemento attuatore è quindi reso flessibile e contemporaneamente la sua resistenza alla flessione rispetto alla sezione verticale diminuisce andando dall'estremità vincolata all'estremità libera. Inoltre, la resistenza alla flessione dell'elemento attuatore rispetto alla sezione orizzontale diminuisce andando dai bordi al centro.

L'elemento attuatore ha simmetria speculare e la sua prima estremità è vincolata alla leva in modo tale che il piano di simmetria di detto elemento attuatore coincide col piano di simmetria della

parte esterna del corpo del robot quando la posizione della manovella è tale che l'angolo tra manovella e biella vale 90° o 270° . La leva è realizzata a due bracci. La prima estremità dell'elemento attuatore è vincolata ad un braccio della leva, mentre la biella è collegata all'altro braccio della leva.

Il collegamento cinematico tra motore ed elemento attuatore comprende un sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore. Il sensore di direzione del movimento dell'elemento attuatore è realizzato in forma di interruttore di fine corsa a molla, elettricamente collegato al sistema di controllo, posto tra due terminali di arresto fissati al corpo del robot, e spinto dalla molla verso la parte mobile della leva (ad esempio, rigidamente fissato al perno della leva). Questo stesso sensore è usato come sensore della frequenza di oscillazione dell'elemento attuatore.

In questo esempio, il compito assegnato al pesce robot è di muoversi autonomamente verso una barra verticale posta nell'acqua e che emette ultrasuoni (un problema bidimensionale).

I sensori di ultrasuoni presenti nel robot permettono al sistema di controllo di calcolare la

direzione nella quale il robot deve muoversi e correggere se necessario la direzione di movimento.

Nel corso del movimento al motore viene applicata una tensione di polarità costante, quindi il motore gira sempre nella stessa direzione. Al motore viene fornita una tensione U_1 quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso orario, ed una tensione U_2 quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso antiorario. La direzione del movimento dell'elemento attuatore può essere determinata per mezzo di un sensore speciale - un sensore della direzione di movimento dell'estremità vincolata di detto elemento attuatore.

Le tensioni U_1 e U_2 vengono simultaneamente aumentate per aumentare la velocità di spostamento del robot, e vengono simultaneamente diminuite per ridurre la velocità del robot.

La frequenza f di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore viene misurata durante il movimento. La frequenza di oscillazione dell'estremità vincolata è determinata per mezzo del sensore di direzione di movimento di detta estremità vincolata dell'elemento attuatore.

In questo esempio, la frequenza di oscillazio-

ne è inferiore alla prima frequenza critica (la coda del pesce robot è usata come elemento attuatore), quindi per le svolte del pesce robot viene usato il seguente algoritmo:

- quando il robot deve avanzare in linea retta, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 = k U_2$, dove k è un valore positivo prestabilito (in particolare, come in questo esempio, quando la lunghezza della manovella è molto minore della lunghezza della biella, $k = 1$),

- quando il robot deve svoltare in senso orario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 > k U_2$,

- quando il robot deve svoltare in senso antiorario, le tensioni U_1 e U_2 sono scelte in modo che $U_1 < k U_2$.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione le forme di attuazione ed i particolari di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto è stato descritto ed illustrato a puro titolo di esempio non limitativo, senza per questo allontanarsi dall'ambito di protezione dell'invenzione definita dalle rivendicazioni allegate.

Elenco dei simboli

1. Corpo
2. Motore elettrico
3. Elemento attuatore
4. Sistema di controllo
5. Leva
6. Manovella
7. Biella
8. Prima estremità dell'elemento attuatore
9. Seconda estremità dell'elemento attuatore
10. Giunto sferico
11. Giunto cardanico
12. Sensore dell'angolo fra manovella e biella
13. Sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore
14. Interruttore di fine corsa

1. Dispositivo pesce robot, comprendente un motore elettrico fissato al corpo del robot e cinematicamente connesso ad un elemento attuatore imperniato al corpo di detto robot, ed un sistema di controllo, collegato al motore ed equipaggiato con sensori ed una sorgente di potenza, la parte esterna del corpo del robot essendo simmetrica rispetto al piano verticale, caratterizzato dal fatto che:

il collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore comprende una leva imperniata sul corpo del robot, un meccanismo a biella e manovella in cui la manovella è collegata all'albero del motore e la biella è cinematicamente collegata alla leva, una prima estremità dell'elemento attuatore essendo vincolata alla leva, e la seconda estremità di detto elemento attuatore essendo libera; l'elemento attuatore ha simmetria speculare ed è vincolato alla leva in modo tale che il piano di simmetria di detto elemento attuatore coincide col piano di simmetria della parte esterna del corpo del robot quando la posizione della manovella è tale da formare con la biella un angolo di 90° ; ed il collegamento cinematico tra motore ed elemento attuatore comprende almeno un sensore.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il collegamento cinematico tra la biella e la leva comprende un giunto sferico.

3. Dispositivo secondo la Rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il collegamento cinematico tra la biella e la leva comprende un giunto cardanico.

4. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 3, caratterizzato dal fatto che il collegamento cinematico tra la biella e la manovella comprende un giunto sferico.

5. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 4, caratterizzato dal fatto che il collegamento cinematico tra la biella e la manovella comprende un giunto cardanico.

6. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 5, caratterizzato dal fatto che uno dei sensori del sistema di controllo è realizzato nella forma di un sensore dell'angolo tra la biella e la manovella.

7. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 5, caratterizzato dal fatto che il sensore nel collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore è realizzato nella forma di un

sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore.

8. Dispositivo secondo la Rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che il sensore della direzione di movimento dell'elemento attuatore è realizzato nella forma di un interruttore di fine corsa a molla, elettricamente collegato al sistema di controllo, e posto tra due terminali di riscontro collegati al corpo del robot e spinto da una molla contro la parte mobile della leva.

9. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 8, caratterizzato dal fatto che il sensore nel collegamento cinematico tra il motore e l'elemento attuatore è realizzato nella forma di un sensore della frequenza di oscillazione della estremità vincolata dell'elemento attuatore.

10. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 9, caratterizzato dal fatto che almeno parte dell'elemento attuatore è resa elastica, in modo tale che in detta parte la resistenza alla flessione rispetto alla sezione verticale diminuisce quando questa sezione (asse) va dall'estremità vincolata all'estremità libera.

11. Dispositivo secondo una qualsiasi delle Rivendicazioni da 1 a 10, caratterizzato dal fatto che

almeno parte dell'elemento attuatore è resa elastica, in modo tale che in detta parte la resistenza alla flessione rispetto alla sezione orizzontale diminuisce quando questa sezione (asse) va dai bordi verso il centro.

12. Metodo di controllo del movimento subacqueo di un dispositivo pesce robot secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 11, caratterizzato dal fatto che per il movimento del robot:

al motore viene applicata una tensione di polarità costante;

al motore viene applicata una prima tensione (U_1) quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso orario

al motore viene applicata una seconda tensione (U_2) quando l'estremità vincolata dell'elemento attuatore si muove in senso antiorario;

per aumentare la velocità di avanzamento del robot la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono aumentate simultaneamente, e per diminuire la velocità di avanzamento del robot la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono diminuite simultaneamente;

viene misurata la frequenza f di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore;

nel caso in cui la frequenza di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore è inferiore alla prima frequenza critica predeterminata f_1^* dell'elemento attuatore in acqua, quando le oscillazioni di detto elemento attuatore avvengono secondo il primo modo, allora:

quando il robot deve muoversi in linea retta la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono scelte in modo che $U_1 = k U_2$, dove k è una costante positiva prestabilita

quando il robot deve svoltare in senso orario la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono scelte in modo che $U_1 > k U_2$

quando il robot deve svoltare in senso antiorario la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono scelte in modo che $U_1 < k U_2$;

nel caso in cui la frequenza di oscillazione dell'estremità vincolata dell'elemento attuatore è maggiore della prima frequenza critica predeterminata f_1^* , ma inferiore alla seconda frequenza critica f_2^* dell'elemento attuatore in acqua, quando le oscillazioni di detto elemento attuatore avvengono nel secondo modo, allora:

quando il robot deve muoversi in linea retta la prima e la seconda tensione (U_1 , U_2) vengono

scelte in modo che $U_1 = k_1 U_2$, dove k_1 è una costante positiva prestabilita;

quando il robot deve svoltare in senso orario la prima e la seconda tensione (U_1, U_2) vengono scelte in modo che $U_1 < k_1 U_2$

quando il robot deve svoltare in senso antiorario la prima e la seconda tensione (U_1, U_2) vengono scelte in modo che $U_1 > k_1 U_2$,

nel caso in cui le oscillazioni dell'elemento attuatore avvengano in successivi modi di oscillazione, allora per i modi di oscillazione di ordine dispari il controllo è simile al controllo per il primo modo, mentre se le oscillazioni di detto elemento attuatore avvengono secondo modi di ordine pari il controllo è simile al controllo per il secondo modo.

CLAIMS

I0139215

1. Fish robot device, which includes an electric motor secured to the body of the robot and kinematically connected to an operating member which is connected rotatably to the body of the robot, and a control system, connected to the motor and with sensors and a power source, the outer part of the body of the robot being made symmetrical relative to the vertical plane, characterized in that the kinematic link between the motor and the operating member includes a lever rotatably mounted on the body of the robot, a crank and connecting rod mechanism in which the crank is connected to the motor spindle and the connecting rod is kinematically connected to the lever, a first end of the operating member being secured to the lever, and the second end of the operating member being made free, the operating member is made mirror symmetrical and is secured to the lever in such a manner that the plane of symmetry of the operating member coincides with the plane of symmetry of the outer part of the body of the robot when the position of the crank is such that the angle between the crank and the connecting rod is 90 degrees, and the kinematic link between the motor and the operating mem-

ber includes at least one sensor.

2. Device according to Claim 1, characterized in that the kinematic link between the connecting rod and the lever includes a ball joint.

3. Device according to Claim 1, characterized in that the kinematic link between the connecting rod and the lever includes a universal joint.

4. Device according to any of Claims 1 to 3, characterized in that the kinematic link between the connecting rod and the crank includes a ball joint.

5. Device according to any of Claims 1 to 4, characterized in that the kinematic link between the connecting rod and the crank includes a universal joint.

6. Device according to any of Claims 1 to 5, characterized in that one of the sensors of the control system is made in the form of a sensor of the angle between the crank and the connecting rod.

7. Device according to any of Claims 1 to 5, characterized in that the sensor in the kinematic link between the motor and the operating member is made in the form of a sensor of the direction of movement of the operating member.

8. Device according to Claim 7, characterized in

that the sensor of the direction of movement of the operating member is made in the form of a spring-loaded end switch, electrically connected to the control system, situated between two end stops connected to the body of the robot, and pressed by a spring against the moving part of the lever.

9. Device according to any of Claims 1 to 8, characterized in that the sensor in the kinematic link between the motor and the operating member is made in the form of a sensor of the vibrational frequency of the fixed end of the operating member.

10. Device according to any of Claims 1 to 9, characterized in that at least part of the operating member is made resilient such that in this part the bending stiffness relative to the vertical cross-section decreases with movement of this cross-section (axis) from the fixed end to the free end.

11. Device according to any of Claims 1 to 10, characterized in that at least part of the operating member is made resilient such that in this part the bending stiffness relative to the horizontal cross-section decreases with movement of this cross-section (axis) from the edges to the centre.

12. Method of controlling the underwater drive of

a fish robot device according to any of claims 1 to 11, characterized in that for movement of the robot

- a constant polarity voltage is supplied to the drive motor;

- a first voltage (U_1) is supplied to the motor when the fixed end of the operating member moves clockwise;

- a second voltage (U_2) is supplied to the motor when the fixed end of the operating member moves anti-clockwise;

- the first and second voltages (U_1 and U_2) are increased simultaneously in order to increase the travel speed of the robot, and the first and second voltages (U_1 and U_2) are decreased simultaneously in order to reduce the speed of the robot;

- the vibrational frequency f of the fixed end of the operating member is measured;

- in the event that the vibrational frequency f of the fixed end of the operating member is less than the predetermined first critical vibrational frequency f_1^* of the operating member in water, when vibrations of the operating member occur in the first mode, then:

- when it is necessary for the robot to move in a straight line, the first and second voltages

(U_1 and U_2) are selected such that $U_1 = kU_2$, where k is a predetermined positive value;

- when it is necessary for the robot to turn clockwise, the first and second voltages (U_1 and U_2) are selected such that $U_1 > kU_2$

- when it is necessary for the robot to turn anti-clockwise, the first and second voltages (U_1 and U_2) are selected such that $U_1 < kU_2$;

- in the event that the vibrational frequency f of the fixed end of the operating member is greater than the predetermined critical frequency f_1^* , but is less than the second critical vibrational frequency f_2^* of the operating member in water, when the vibrations of the operating member occur in the second mode, then:

- when it is necessary for the robot to move in a straight line, the first and second voltages (U_1 and U_2) are selected such that $U_1 = k_1U_2$, where k_1 is a predetermined positive value

- when it is necessary for the robot to turn clockwise, the first and second voltages (U_1 and U_2) are selected such that $U_1 < k_1U_2$,

- when it is necessary for the robot to turn anti-clockwise, the first and second voltages (U_1 and U_2) are selected such that $U_1 > k_1U_2$

- in the event that the vibrations of the operating member occur in subsequent vibrational modes, then for an odd-numbered vibrational mode control is similar to control in the first mode, and if the vibrations of the operating member occur in an even-numbered vibrational mode then control is similar to control in the second mode.

FIG.1

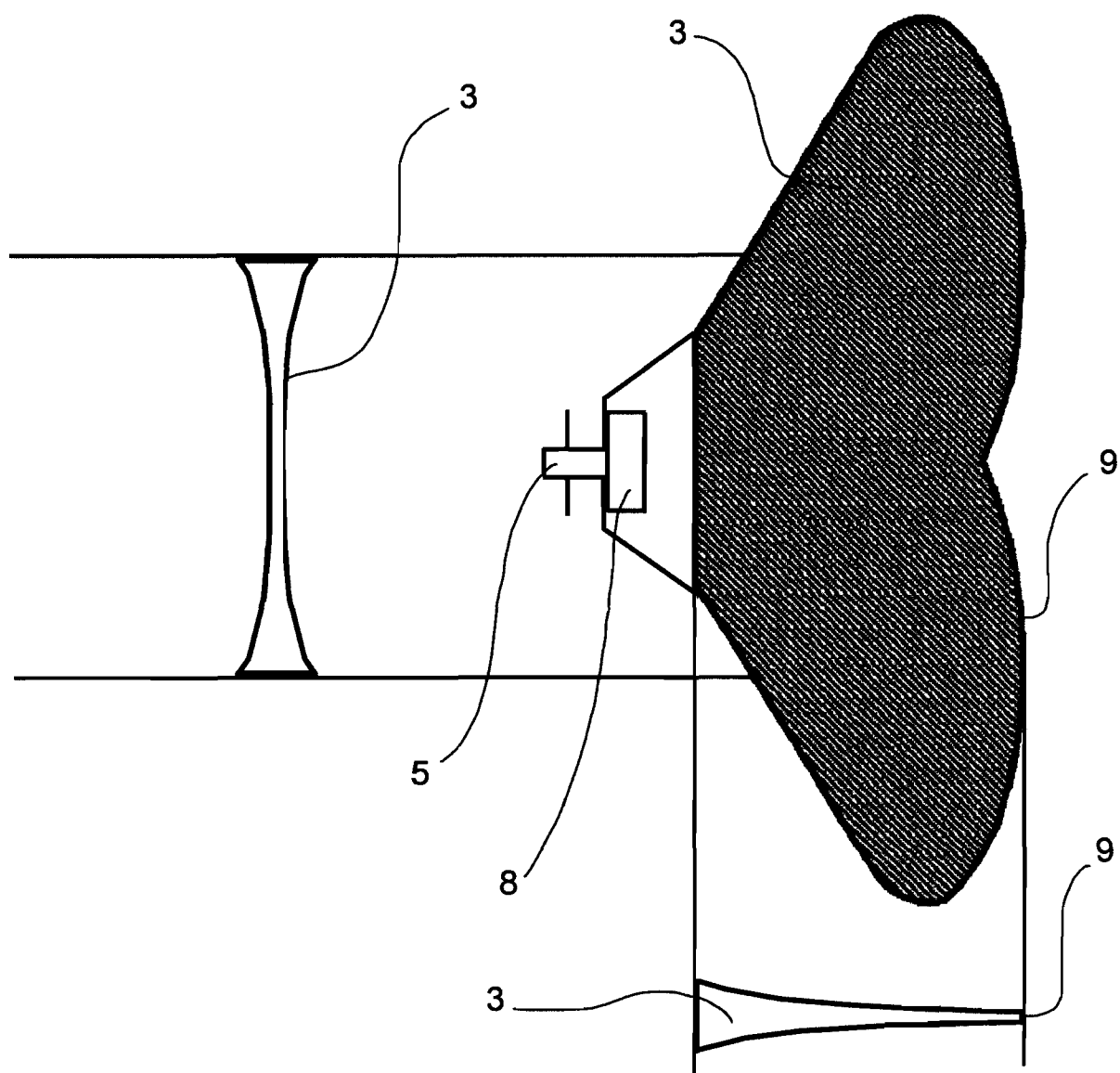


FIG.2

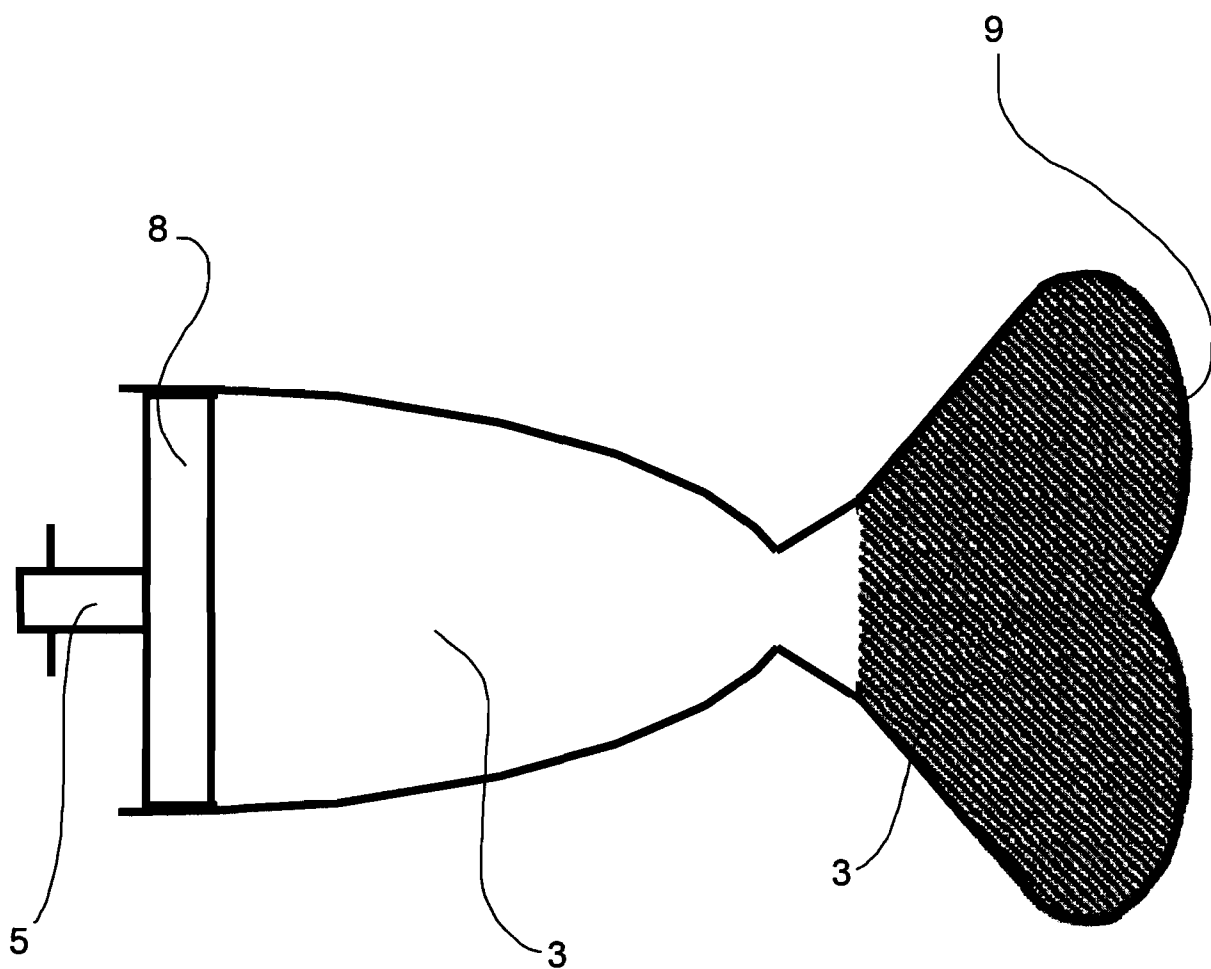


FIG.3

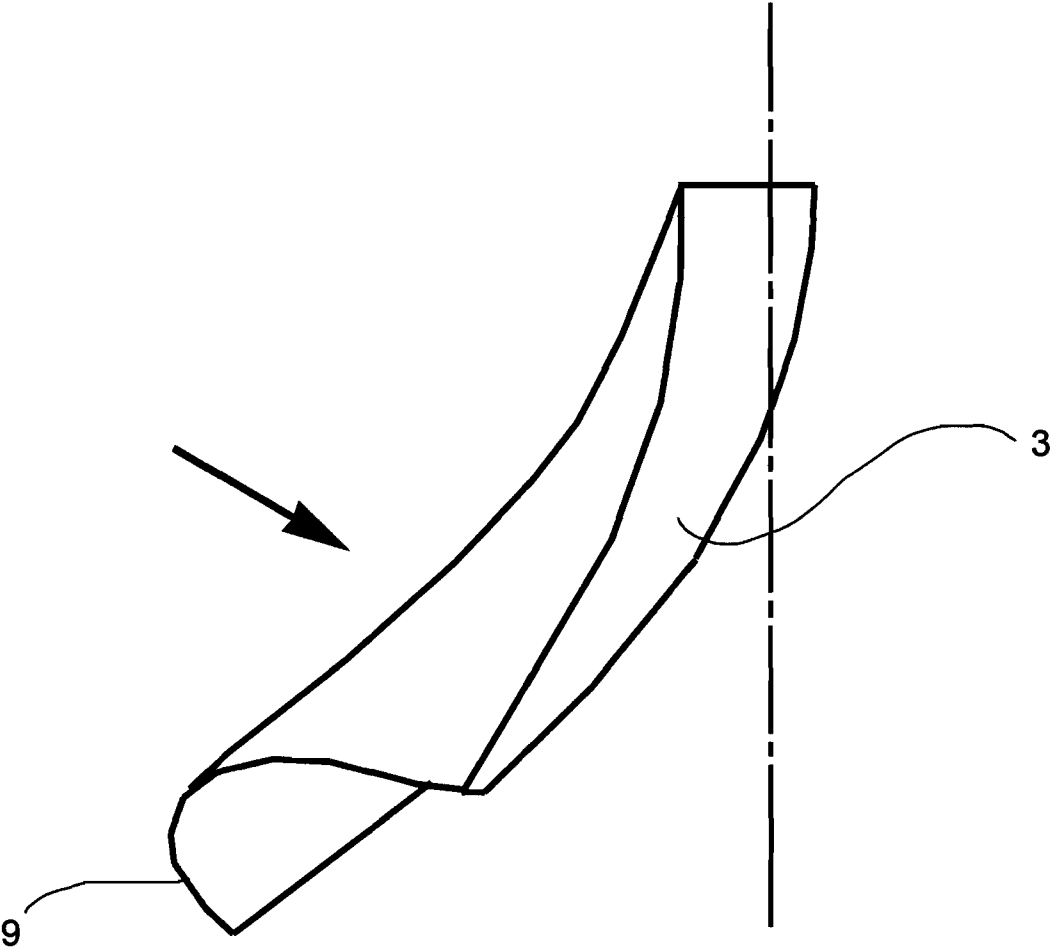


FIG.4

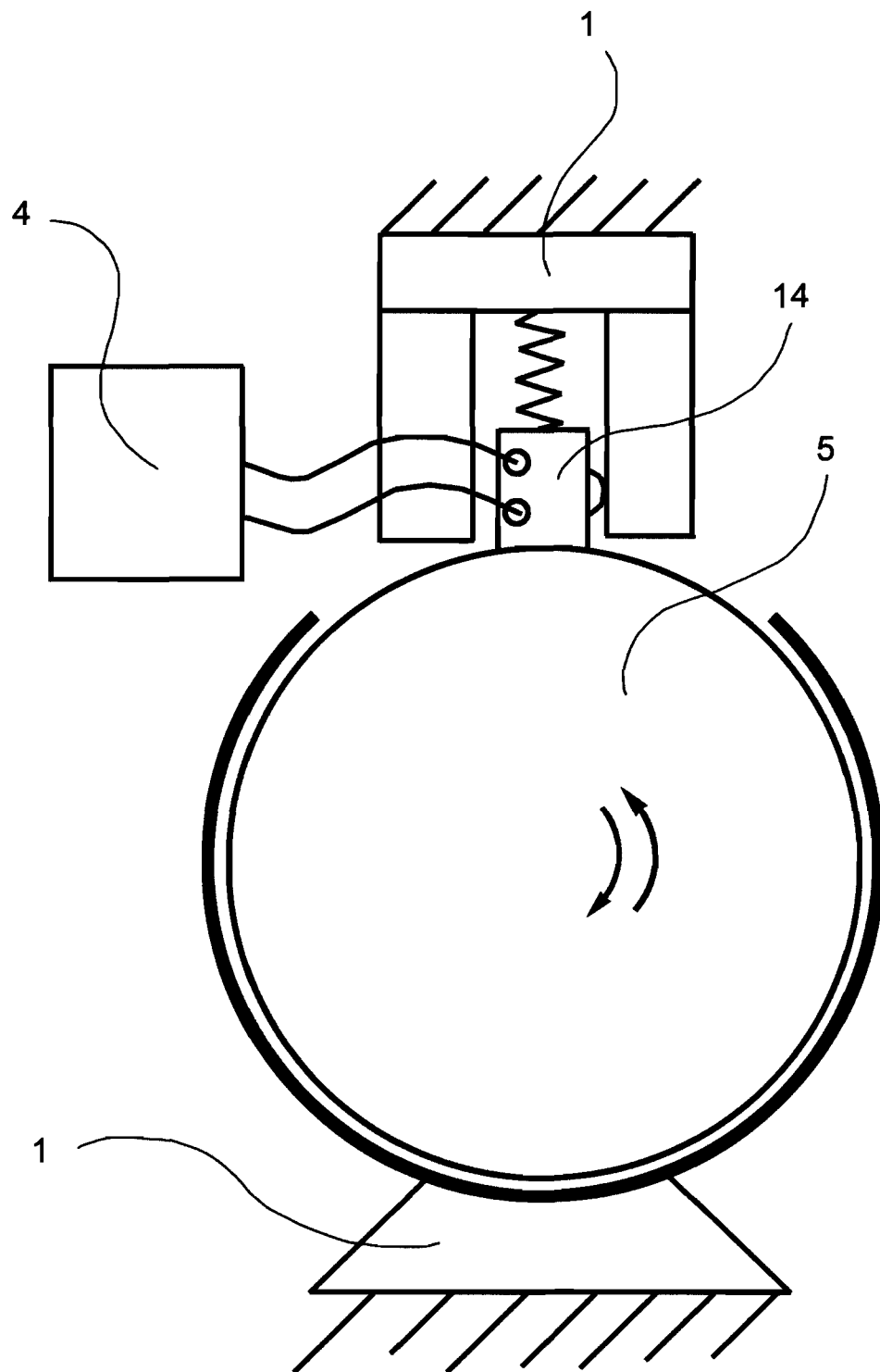


FIG.5

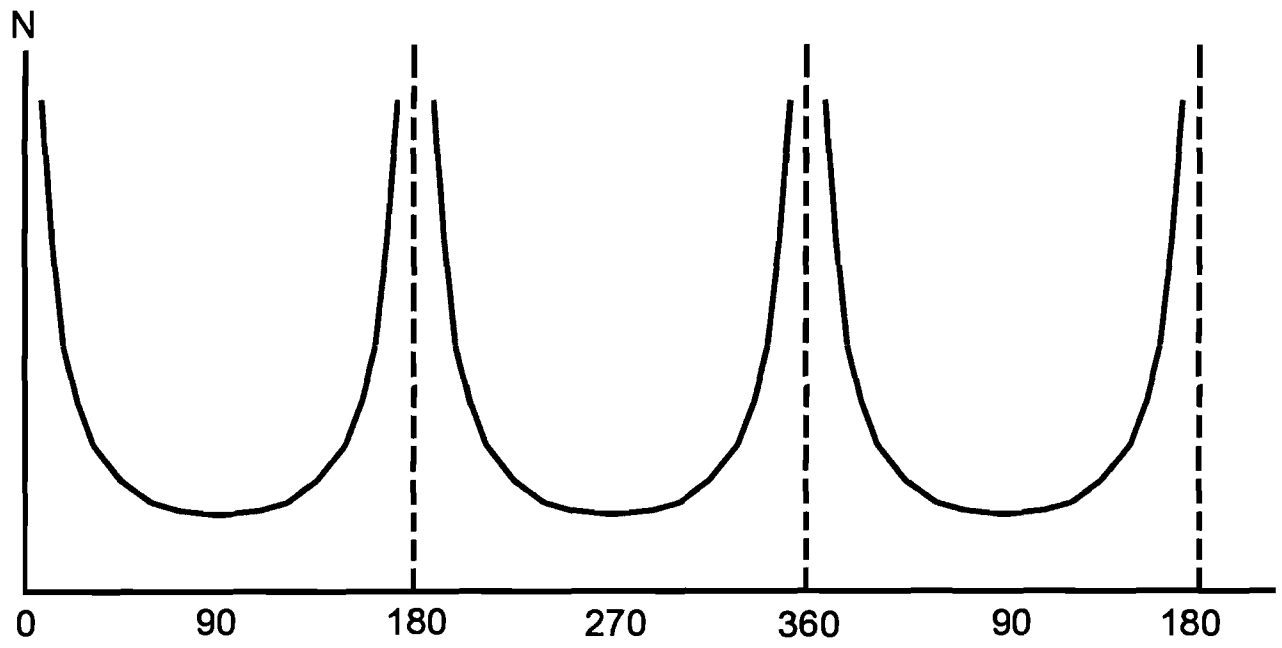


FIG.6

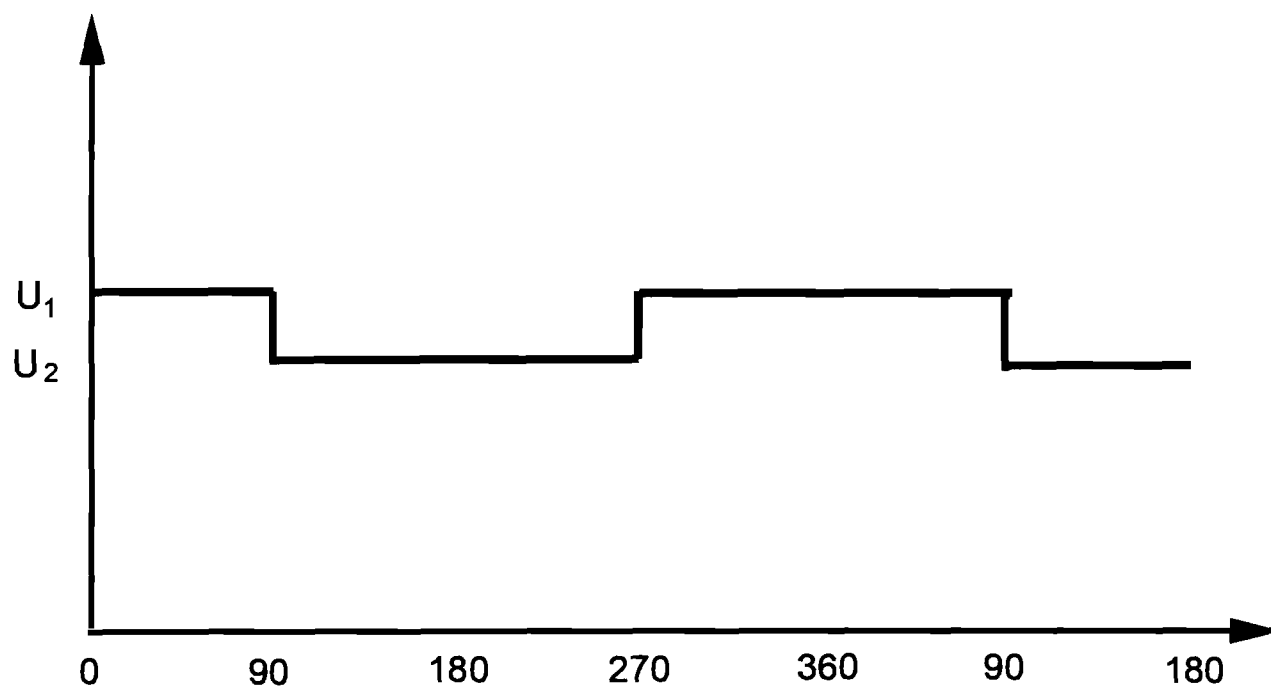


FIG.7

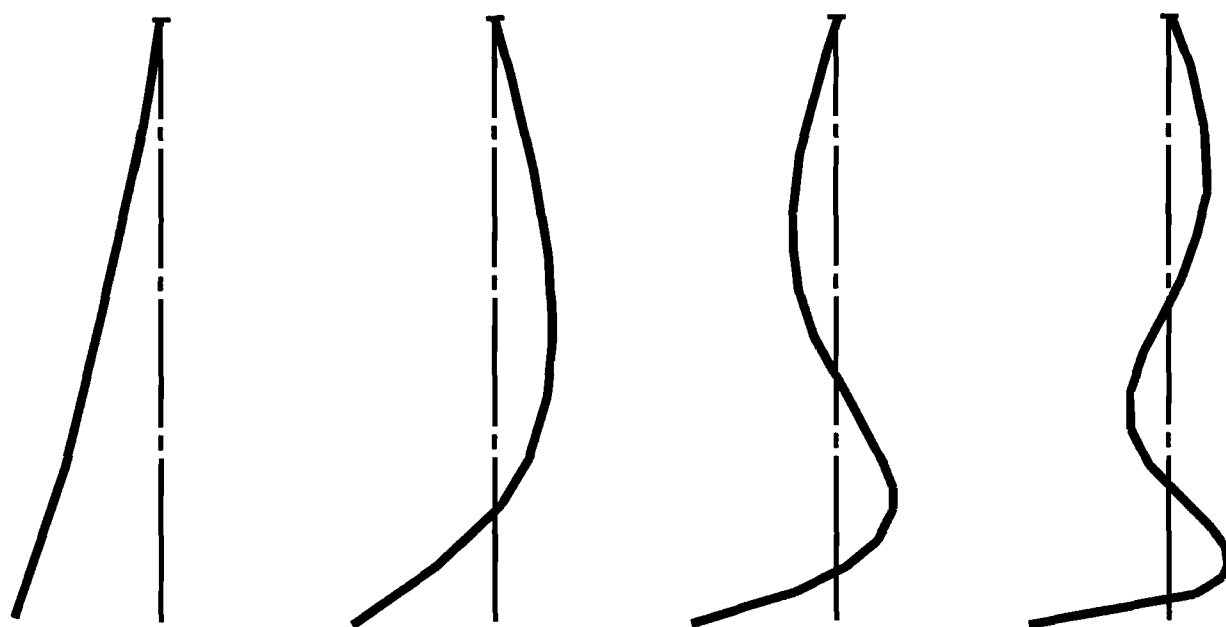


FIG.8