

## **Robot de masurare reconfigurabil**

Prezenta inventie se refera la o noua constructie de robot destinat masurarii dimensiunilor obiectelor.

Se cunosc masinile de masurat in coordonate, fixe sau portabile, care presupun explorarea succesiva a suprafetei de masurat, folosind un palpator cu cap sferic, si calculul, pe baza rezultatelor obtinute prin explorare, a deviatiilor de forma, dimensiune si pozitie relativa ale suprafetei. Atat masinile fixe cat si cele portabile sunt compuse dintr-un numar fix de elemente, cuplate prin intermediul unor elemente de conectare, care se pot roti sau transla unul fata de altul. In fiecare element de conectare exista un traductor, care masoara distanta sau unghiul dintre cele doua elemente conectate. La unul dintre capete se afla palpatorul, care exploreaza suprafata de masurat, iar celalalt capat este fixat pe acelasi suport ca si obiectul. Numarul de elemente de cuplare trebuie sa fie destul de mare, pentru ca palpatorul sa poata explora suprafetele de interes, ale acelui obiect aflat in campul de lucru al masinii care are cea mai complicata forma si cea mai mare dimensiune.

Prin intermediul calibrarii – proces care se desfasoara separat fata de procesul de masurare si care consta in explorarea unor obiecte de referinta – se estimeaza parametrii modelului matematic al masinii de masurat. Acest model permite calculul coordonatelor centrului sferic al palpatorului, functie de valorile distantelor si unghiurilor masurate de traductoare.

Pentru masurarea unei suprafete, operatorul trebuie mai intai sa stabileasca numarul de puncte care vor fi explorate pe respectiva suprafata si sa introduca in sistem, in mod explicit si independent, urmatoarele informatii: tipul suprafetei de masurat, (de exemplu cilindrica, plana, conica, etc.), caracterul acesteia (interioara sau exterioara) si caracteristicile geometrice ale palpatorului. Apoi, trebuie sa exploreze suprafata dupa un algoritm impus ( de exemplu, in cazul unei suprafete cilindrice, primele trei puncte trebuie sa se afle pe un arc de cerc de cel putin 120 de grade, iar urmatoarele 3 puncte trebuie sa se afle pe un alt arc de cerc deasemenea de 120 de grade). Dupa ce operatorul a explorat numarul de puncte stabilit, trebuie sa dea comanda de evaluare a caracteristicilor geometrice ale suprafetei explorate ( de exemplu diametrul suprafetei cilindrice sau deviatia acestuia in raport cu valoarea nominala).

Actualele constructii de masini portabile de masurat au urmatoarele dezavantaje:

- in majoritatea cazurilor de masurare, numarul de elemente ce compun structura respectivei masini de masurat este mult mai mare decat minimul necesar; in consecinta, eroarea de masurare este mai mare iar utilizarea de catre operator al masinii este mai dificila;
- calibrarea este sofisticata, imprecisa si cere mult timp;
- eroare de masurare este de aproximativ de 10 ori mai mare decat eroarea de repetabilitate, ceea ce inseamna ca nu se utilizeaza in intregime performantele de precizie ale traductoarelor din elementele de cuplare.
- pentru a pune in practica procedura de masurare a unei dimensiuni, operatorul trebuie sa intreprinda un numar mare de actiuni care face ca procesul de masurare sa fie complicat si sa necesite mult timp.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia este realizarea unui robot de masurare, care, fiind mai bine adecvat formei si dimensiunilor obiectului de masurat. sa asigure un proces de masurare mai precis si cu mai putin efort din partea operatorului.

Prezenta inventie elimina dezavantajele de mai sus prin aceea ca: a) pentru a corela configuratia robotului de masurare, cu forma si dimensiunile obiectului masurat, acesta are o structura variabila, care se obtine prin cuplarea dupa necesitati a mai multor elemente, astfel incat sa se obtina un sistem articulata, avand doua sau mai multe extremitati, in fiecare articulatie aflandu-se un traductor, care masoara unghiul de rotatie al respectivei articulatii, si la fiecare extremitate aflandu-se un element adecvat, pentru a asigura contactul cu obiectul sau cu suportul acestuia; b) in timpul explorarii suprafetei de masurat, se recunosc automat elementele geometrice masurate, care pot fi de tip punct, linie dreapta, cerc, plan, sfera, cilindru, con, se determina automat caracterul acestora, de suprafata interioara sau exterioara, compensandu-se automat raza palpatorului folosit pentru explorarea suprafetei si c) pentru a reduce erorile de masurare, procesul de calibrare al robotului este integrat cu procesul de masurare, ceea ce permite ca, periodic, in cursul masurarii unei anumite suprafete a piesei, sa se obtina, la comanda operatorului, atat modelul matematic al suprafetei explorate, cat si o forma actualizata a modelului matematic al robotului, forma care sa tina cont de evolutiile aparute in ceea ce priveste valorile parametrilor modelului matematic al robotului.

In continuare se da un exemplu de aplicare a inventiei in legatura cu urmatoarele figuri:

figura 1 – tipuri de elemente utilizate pentru configurarea robotului de masurare;

figura 2- robot de masurare asamblat: 1 – elementul de palpare, 2- articulatie transversala, 3- articulatie axiala, 4- element intermediar, 5 - articulatie transversala, 6 - element de palpare ;

figura 3 - robotul de masurare reconfigurabil in actiune;

figura 4 - traiectoria palpatorului robotului in cursul unui ciclu de identificare automata a geometriei;

figura 5 - schema prototipului robotului de masurare reconfigurabil;

figura 6 - prototipul robotului de masurare reconfigurabil.

Robotul de masurare se configureaza prin cuplarea mecanica si electrica a unor elemente, selectate dintr-un grup de elemente existente, care contine 4 tipuri de elemente ( figura 1): elemente de palpare, elemente intermediare de forme variate care sa permita adecvarea arhitecturii robotului la forma geometrica a piesei ori a subansamblului masurat, elemente de tip articulatie si elemente de fixare a robotului, la care se adauga o unitate centrala de procesare a datelor. Elementele de tip articulatie contin traductoare, care masoara unghiul dintre cele doua parti ale articulatiei si transmit informatia la unitatea centrala de procesare a datelor. Utilizand un numar minim de elemente, adecvate ca forma, se poate configura un robot de masurare a carui structura sa permita explorarea suprafetelor obiectului ce trebuie masurat, precum si manevrarea usoara a acestuia. Pentru exemplificare in figura 2 se prezinta un robot, la configurarea caruia au fost folosite sase elemente (1,2,3..6) si care are trei grade de libertate (I,II,III).

La configurare, criteriile de selectie a elementelor sunt in esenta urmatoarele:

-dimensiunile, forma si disponerea suprafetelor ce trebuie masurate, pentru ca, in functie de toate acestea, sunt selectate dimensiunile si forma elementelor intermediare;

- nivelul de accesibilitate necesar, care sta la baza deciziei privind numarul de articulatii;

- precizia de masurare, care sta la baza selectarii nivelului de precizie a articulatiilor;

- numarul total de elemente, care trebuie sa fie minimizat, pentru a reduce numarul surselor de eroare.

Calibrarea robotului de masurare reconfigurabil consta in determinarea parametrilor modelului matematic al acestuia. Datele de intrare in modelul matematic al robotului vor fi valorile unghiurilor masurate din articulatii, iar datele de iesire vor fi pozitia relativa a sistemelor de referinta S1 si S2, solidare cu palpatorul, respectiv elementul 6 din figura 2.

Parametrii modelului matematic al robotului sunt caracteristicile geometrice ale elementelor componente si pozitiile traductoarelor din articulatii (offset-urile).

Potrivit prezentei inventii, calibrarea poate fi:

- totala, daca se determina toti parametrii modelului matematic al sistemului, sau partiala, daca se determina numai o parte a parametrilor;

- globala, daca valorile determinate ale parametrilor modelului matematic al robotului se considera valide pentru tot spatiul de lucru al acestuia, sau locala, daca validitatea acestor valori se limiteaza la o anumita zona din acest spatiu;

- permanenta si automata sau ocazionala si neautomata, adica: a) permanenta si automata daca, utilizand elementele geometrice care sunt identificate in timpul masurarii obiectului, robotul selectioneaza automat, datele necesare pentru calibrare, le organizeaza in formatul necesar, le completeaza cu alte date necesare la intrarea in algoritmul de calibrare, si initiaza automat derularea acestui algoritm, urmata de actualizarea valorilor parametrilor modelului matematic al robotului sau b) ocazional si neautomat, daca completarea grupului de date necesare in algoritmul de calibrare se face explorand manual suprafetele piesei etalon folosita pentru calibrare.

Potrivit inventiei, identificarea geometriei piesei este automata, adica, pentru fiecare element geometric masurat, se recunoaste structura modelului matematic, caracterul interior sau exterior al suprafetei si se determina automat valorile parametrilor modelului acesteia, fara nici o comanda din partea operatorului, si fara nici o restrictie privind succesiunea punctelor explorate.

Identificarea automata a geometriei piesei presupune parcurgerea a una sau mai multor secvente, fiecare secventa constand in urmatoarele actiuni:

- se atinge cu palpatorul robotului suprafata de masurat a obiectului (segmentul A1-A'-A);
- se comanda initierea ciclului de evaluare (punctul A1); cu datele corespunzatoare a acestei pozitii a palpatorului are loc prima rulare a ciclului de evaluare;
- se misca palpatorul pe suprafata obiectului (segmentul A-B al traiectoriei); in cursul miscarii, ciclul de evaluare se deruleaza de mai multe ori; nu exista nici o restrictie in ceea ce priveste forma traiectoriei palpatorului pe suprafata obiectului;
- se comanda momentul cand se intrerupe ciclul de evaluare (punctul B);
- se departeaza palpatorul de suprafata obiectului, segmentul (B-B'-B1) al traiectoriei palpatorului.

Ciclul de evaluare are urmatoarele etape:

- se asociaza punctul curent in care se afla palpatorul cu grupul de puncte anterior recoltate de pe suprafata de masurat si se determina tipul elementului geometric;
- se stabileste structura modelului matematic al elementului si se evalueaza parametrii acestuia;
- se evalueaza dimensiunile caracteristice ale elementului geometric modelat;
- se transmite operatorului urmatoarele informatii: tipul elementului geometric, caracterul elementului geometric, dimensiunile elementului geometric, deviatiiile acestor dimensiuni in raport cu valorile nominale si gradul de incredere in informatiile obtinute pana in acel

moment. Avand aceste informatii, operatorul decide daca va continua sau nu procesul de identificare.

Pentru a stabili structura modelului matematic al suprafetei si a evalua parametrii acestuia, se vor derula etapele urmatoare:

- se determina coeficientii ecuatiei unei suprafete generale de ordinul doi, pentru care suma patratelor valorilor functiei in punctele masurate ale elementului geometric de identificat este minima;
- se testeaza relatiile dintre coeficientii ecuatiei suprafetei generale, stabilindu-se tipul suprafetei particulare care va da si forma modelului matematic al elementului identificat;
- se stabilesc coeficientii ecuatiei suprafetei particulare (cilindru de exemplu) pentru care suma patratelor distantelor de la punctele aflate pe suprafata reala la suprafata descrisa de modelul matematic este minima;
- utilizand punctele care apartin traiectoriei de aterizare ( $A_1-A'-A$ ) si traiectoriei de decolare ( $B-B'-B_1$ ) a palpatorului, se stabileste caracterul elementului geometric ( de exemplu, cilindru interior).

Robotul de masurare reconfigurabil, potrivit inventiei, are urmatoarele avantaje:

- precizia de masurare este mai inalta decat la constructiile existente, din cauza ca numarul de articulatii este minim iar calibrarea este mai frecventa, ceea ce face ca modelul matematic al robotului sa tina permanent seama de evolutia elementelor componente ale robotului (de exemplu dilatarea lor termica);
- robotul are o structura mai adecvata formei si dimensiunilor obiectului de masurat, ceea ce face ca masurarea sa fie mai usoara si mai sigura;
- robotul necesita un efort de operare mai redus, intrucat pentru a masura o suprafata i se cer operatorului mult mai putine informatii initiale.

Prototipul construit pentru a pune in practica prezenta inventie are 3 articulatii transversale si 3 articulatii axiale, precum si un numar mare de elemente de palpate, elemente intermediare si elemente de fixare. O schema de configurare a robotului este prezentata in figura 5 iar robotul astfel configurat este prezentat in figura 6. Testarea preciziei prototipului robotului la masurarea diametrelor unor suprafete cilindrice a evidentiat un nivel al erorii de masurare cuprins intre 0,01 si 0,05 mm.

## Revendicari

1) Robot de masurare reconfigurabil, caracterizat prin aceea ca, pentru a corela configuratia robotului de masurare cu forma si dimensiunile obiectului masurat, robotul are o structura variabila, care consta in cuplarea dupa necesitati a mai multor elemente intermediare, adecvate ca forma si dimensiune, astfel incat sa se obtina un sistem articulata avand doua sau mai multe extremitati, in fiecare articulatie aflandu-se un traductor, care masoara unghiul de rotatie a respectivei articulatii si in fiecare extremitate aflandu-se un element adecvat, pentru a asigura contactul cu obiectul sau cu suportul obiectului.

2) Robot de masurare reconfigurabil, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, in timpul explorarii suprafetei de masurat, se recunosc automat elementele geometrice de tip punct, linie dreapta, cerc, plan, sfera, cilindru si con.

3) Robot de masurare reconfigurabil, conform revedicarii 1, caracterizat prin aceea ca, simultan cu masurarea obiectului are loc si calibrarea robotului, prin identificarea simultana, atat a parametrilor modelului matematic al obiectului, cat si a parametrilor modelului matematic al robotului.

4) Robot de masurare reconfigurabil, conform revedicarii 1, caracterizat prin aceea ca, diametrul bilei palpatorului se compenseaza automat, prin analiza pozitiei in raport cu suprafata masurata a punctelor aflate pe segmentul de aterizare si pe segmentul de decolare a palpatorului, pe si de pe suprafata explorata de acesta.

## Rezumat

Prezenta inventie se refera la un nou robot de masurare a dimensiunilor obiectelor. Se cunosc masinile de masurat in coordonate, fixe sau portabile, care presupun explorarea succesiva a suprafetei folosind un palpator cu cap sferic, si calculul, pe baza rezultatelor obtinute prin explorare, a deviatiilor de forma, dimensiune si pozitie relativa ale suprafetei.

Actualele constructii de masini portabile de masurat au urmatoarele dezavantaje:

- in majoritatea aplicatiilor de masurare numarul de elemente ce compun structura respectivei masini de masurat este mult mai mare decat minimul necesar ; in consecinta, atat eroarea de masurare, cat si efortul de operare sunt mai mari;
- calibrarea este sofisticata, imprecisa si cere mult timp;
- eroare de masurare este de aproximativ de 10 ori mai mare decat eroarea de repetabilitate din cauza faptului ca modelul matematic al robotului nu exprima cu suficienta precizie comportarea acestuia in cursul functionarii.

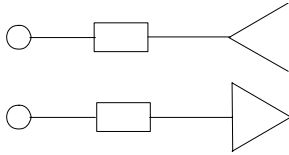
Problema tehnica pe care o rezolva inventia este realizarea unui robot de masurare care sa asigure un proces de masurare mai precis, cu mai putin efort din partea operatorului si mai bine adecvat formei si dimensiunilor obiectului de masurat.

Prezenta inventie elimina dezavantajele de mai sus prin aceea ca: a) pentru a corela configuratia robotului de masurare, cu forma si dimensiunile obiectului masurat, acesta are o structura variabila care se obtine prin cuplarea dupa necesitati, a mai multor elemente de forme si dimensiuni adecvate, astfel incat sa se obtina un sistem articulata, avand doua sau mai multe extremitati, in fiecare articulatie aflandu-se un traductor care masoara unghiul de rotatie a respectivei articulatii si la fiecare extremitate aflandu-se un element adecvat pentru a asigura contactul cu obiectul sau cu suportul acestuia; b) in timpul explorarii suprafetei de masurat, se recunosc automat elementele geometrice masurate, care pot fi de tip punct, linie dreapta, cerc, plan, sfera, cilindru, con, se determina automat caracterul acestora de suprafata interioara sau exterioara, compensandu-se automat raza palpatorului folosit pentru explorarea suprafetei si c) pentru a reduce erorile de masurare, procesul de calibrare al robotului este integrat cu procesul de masurare, ceea ce permite ca, periodic, in cursul masurarii unei anumite suprafete ale piesei, sa se obtina, la comanda operatorului, atat modelul matematic al suprafetei exploreate, cat si o forma actualizata a modelului matematic al robotului, forma care sa tina cont de evolutiile aparute in ceea ce priveste valorile parametrilor modelului matematic al robotului.

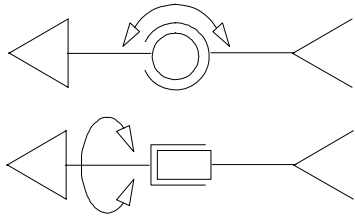
Revendicari

- 1) Robot de masurare reconfigurabil, caracterizat prin aceea ca, pentru a corela configuratia robotului de masurare cu forma si dimensiunile obiectului masurat, robotul are o structura variabila, care consta in cuplarea dupa necesitati a mai multor elemente intermediare, adecvate ca forma si dimensiune, astfel incat sa se obtina un sistem articulata avand doua sau mai multe extremitati, in fiecare articulatie aflandu-se un traductor, care masoara unghiul de rotatie a respectivei articulatii si in fiecare extremitate aflandu-se un element adecvat, pentru a asigura contactul cu obiectul sau cu suportul obiectului.
- 2) Robot de masurare reconfigurabil, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, in timpul explorarii suprafetei de masurat, se recunosc automat elementele geometrice de tip punct, linie dreapta, cerc, plan, sfera, cilindru si con.
- 3) Robot de masurare reconfigurabil, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, simultan cu masurarea obiectului are loc si calibrarea robotului, prin identificarea simultana, atat a parametrilor modelului matematic al obiectului, cat si a parametrilor modelului matematic al robotului.
- 4) Robot de masurare reconfigurabil, conform revendicarii 1, caracterizat prin aceea ca, diametrul bilei palpatorului se compenseaza automat, prin analiza pozitiei in raport cu suprafata masurata a punctelor aflate pe segmentul de aterizare si pe segmentul de decolare a palpatorului, pe si de pe suprafata explorata de acesta.

Figuri



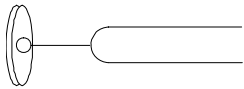
ELEMENTE DE PALPARE



ELEMENTE DE TIP ARTICULATIE



ELEMENTE INTERMEDIARE



ELEMENTE DE FIXARE

Fig. 1

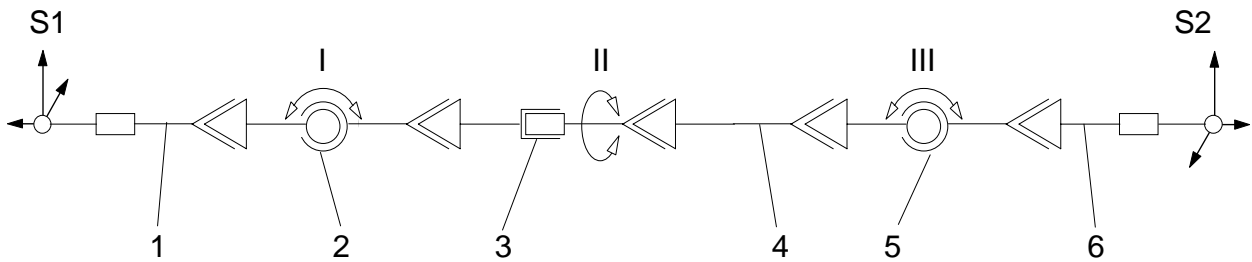
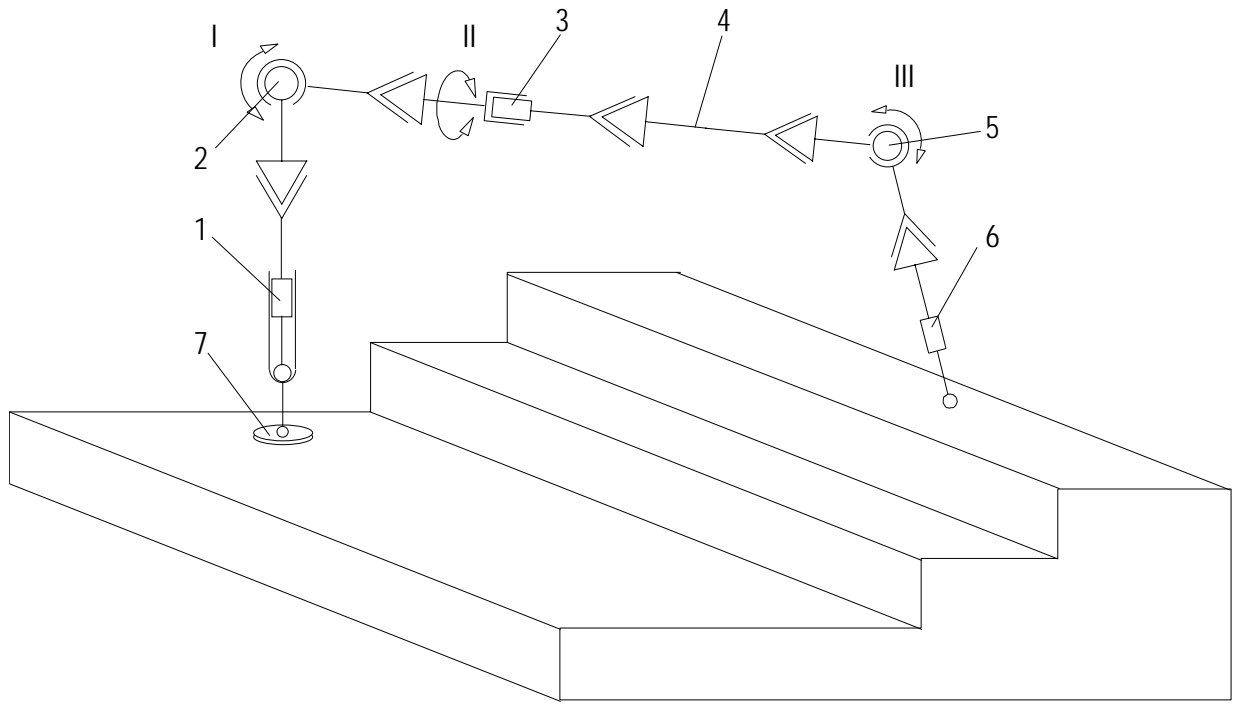
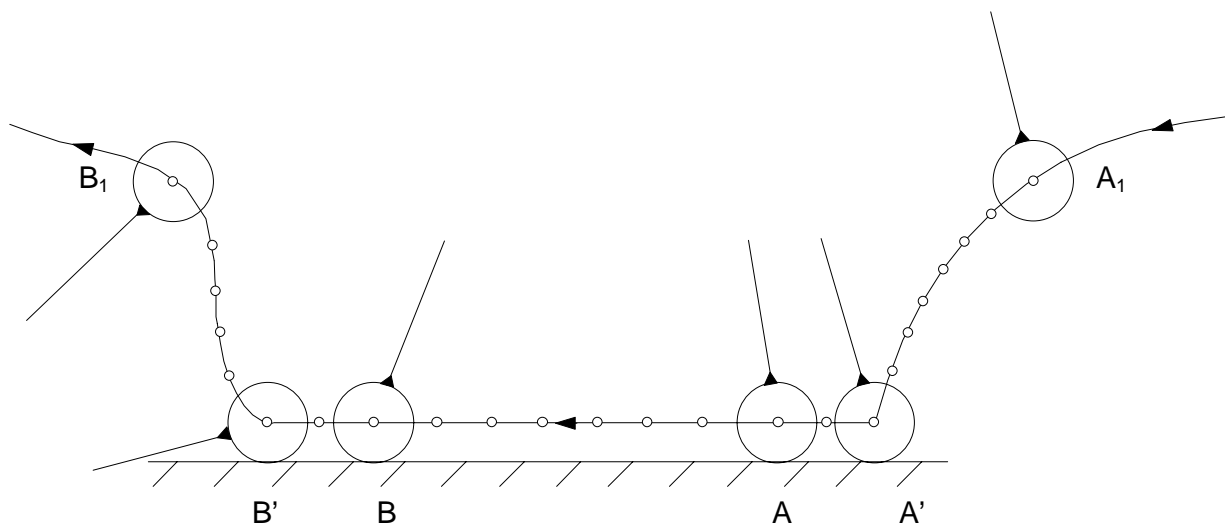


Fig. 2

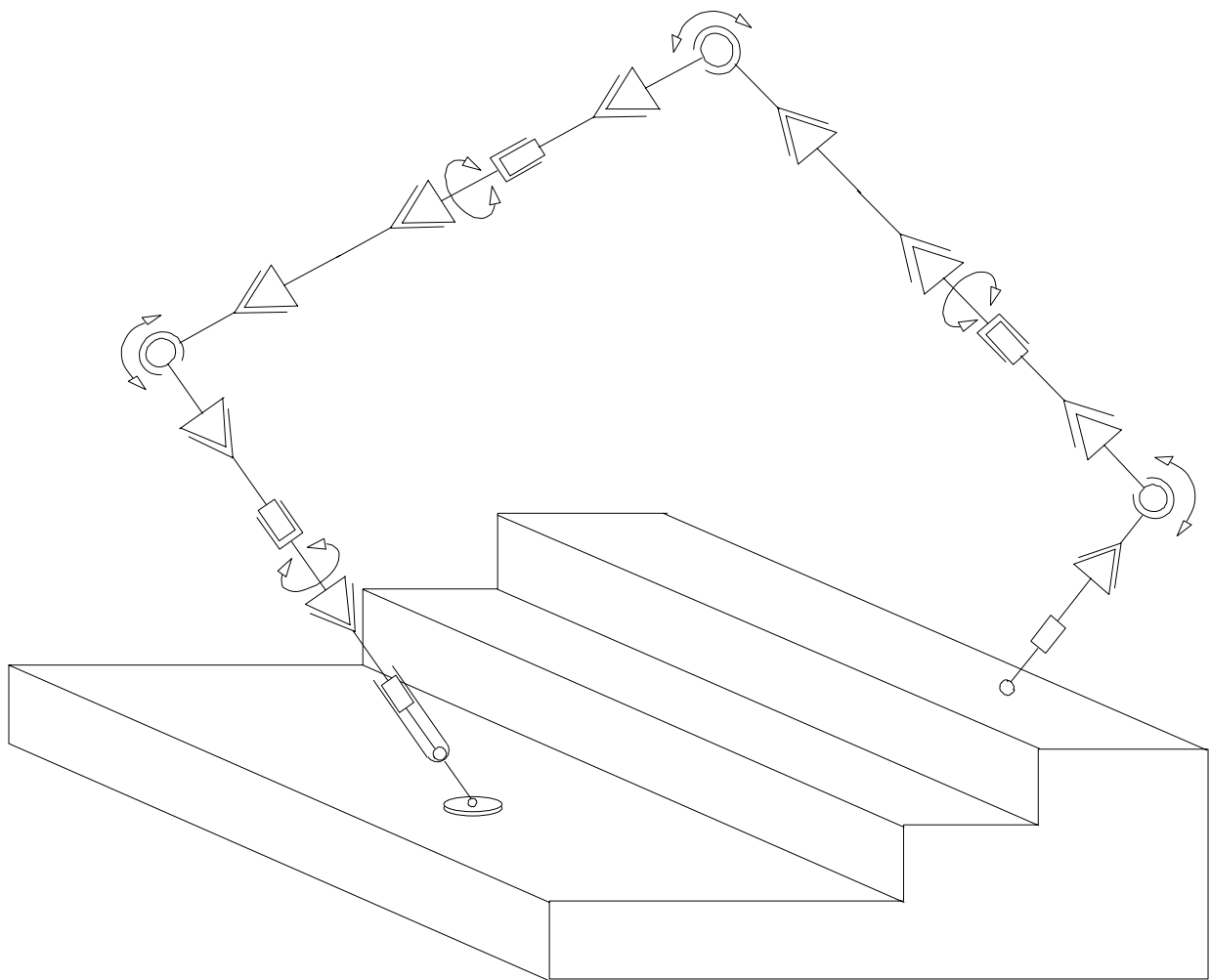


**Fig. 3**





**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**