

(12)

PATENT

(21) Številka prijave: **202200064**

(51) Int. Cl. (2018.01)

(22) Datum prijave: **25.04.2022**

G01B 7/00

G01D 5/00

(45) Datum objave: **30.10.2023**

(72) Izumitelj: **Zdovc Jure, 1218 Komenda, SI**

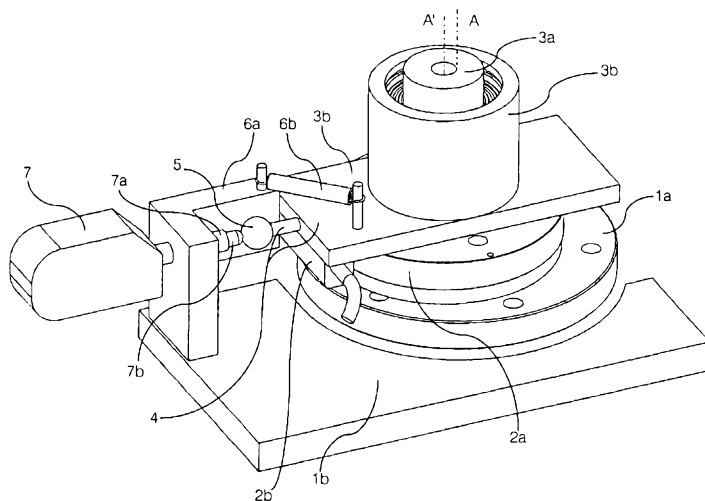
(73) Imetnik: **RLS Merilna tehnika d.o.o.,
Poslovna cona Žeje pri Komendi, Pod vrbami 2, 1218 Komenda, SI**

(74) Zastopnik: **ITEM d.o.o. Zastopniška pisarna za patente in blagovne znamke, Resljeva 16, 1000 Ljubljana, SI**

(54) **KROŽNI DAJALNIK POLOŽAJA IN METODA ZA ODPRVLJANJE NAPAK ZARADI MONTAŽE**

(57) Predmet izuma je krožni dajalnik položaja (2), katerega izhodna informacija vsebuje podatek o položaju rotacijskega merjenega sistema (1), in metodo za odpravljanje napake v izhodni informaciji, ki nastane zaradi netočne montaže krožnega dajalnika položaja (2) na rotacijski merjeni sistem (1). Krožni dajalnik položaja (2) vključuje primarni merilni sklop (2a) in sekundarni merilni sklop (2b), ki sta povezana z mehansko povezavo (3), ki omogoča medsebojno rotacijsko gibanje merilnih sklopov (2a, 2b) okoli osi (A'). Primarni merilni sklop (2a) je fiksno povezan s primarnim glavnim delom (1a) merjenega sistema (1), sekundarni merilni sklop (2b) je fleksibilno povezan s sekundarnim glavnim delom (1b)

merjenega sistema (1) preko omejevalno povezovalnih sredstev (6), ročice (4) in korekcijskega merilnega elementa (5), s čimer je omogočeno, da se primarni merilni sklop (2a) krožno giba skupaj s primarnim glavnim delom (1a). Kadar os (A) in os (A') nista poravnani, se sekundarni merilni sklop (2b) premika glede na sekundarni glavni del (1b) merjenega sistema (1), ki je praviloma statičen, na tak način, da se krožno gibanje krožnega dajalnika položaja (2) pretvori v linearno gibanje korekcijskega merilnega elementa (5) oziroma njemu pripadajoče merilne točke (M), katere gibanje merimo z linearnim senzorjem (7).



Krožni dajalnik položaja in metoda za odpravljanje napak zaradi montaže

Zadevni izum se nanaša na krožni dajalnik položaja, katerega izhodna informacija vsebuje podatek o položaju rotacijskega merjenega sistema, in metodo za odpravljanje napake v izhodni informaciji, ki nastane zaradi netočne montaže krožnega dajalnika položaja na rotacijski merjeni sistem.

Znani so krožni dajalniki položaja, ki so montirani na rotacijske merjene sisteme, na primer na stroju z rotirajočo robotsko roko, in so namenjeni zaznavanju položaja enega od glavnih delov merjenega sistema, na primer robotske roke, glede na drugega od glavnih delov merjenega sistema, na primer glede na statični del stroja, na katerega je pritrjena robotska roka, in podajanju položaja v izhodni informaciji v želeni obliki, na primer v analogni ali digitalni obliki. Običajno je položaj v izhodni informaciji izražen ali izrazljiv v obliki kota med glavnima deloma merjenega sistema ali spremembe kota, ki je posledica krožnega gibanja enega od glavnih delov merjenega sistema glede na drugega od glavnih delov merjenega sistema. Na primer, krožni dajalniki položaja so razkriti med drugim v US4319188.

V praksi je točna mehanska montaža krožnih dajalnikov položaja na vsakokratne merjene sisteme zelo zahtevna in če krožni dajalnik položaja ni po montaži dodatno umerjen, pogosto prihaja do znatnih napak v izhodni informaciji. Pri montaži krožnega dajalnika položaja na rotacijski merjeni sistem pride do netočnosti, namreč da se os A vrtenja merjenega sistema ne ujema povsem z osjo A' vrtenja krožnega dajalnika položaja, kar povzroči, da izhodna informacija vsebuje napačen položaj merjenega sistema. Na primer, pogosto krožni dajalniki položaja vsebujejo obroč z magnetnim zapisom in čitalno glavo z magnetnimi senzorji, pri čemer se obroč pritrdi na rotacijsko robotsko roko, čitalno glavo pa na statični del stroja. Robotska roka, kot primarni glavni del merjenega sistema, se krožno giba okoli osi A glede na statični del stroja, kot sekundarni glavni del merjenega sistema. Pri montaži obroča na robotsko roko skoraj vedno pride do netočnosti, namreč da se os A' vrtenja obroča po montaži ne ujema povsem z omenjeno osjo A merjenega sistema, zato podatek o položaju (kotu) merjenega sistema v izhodni informaciji krožnega dajalnika vsebuje napako, ki je neželena.

Krožni dajalnik položaja ter metoda po zadevnem izumu sta namenjena zaznavanju in odpravljanju napake v izhodni informaciji zaradi netočne montaže krožnega dajalnika položaja na merjeni sistem.

Izum je podrobneje opisan v nadaljevanju in predstavljen z izvedbenim primerom in na slikah:

slika 1: izvedbeni primer krožnega dajalnika položaja po izumu, ko je montiran na merjeni sistem;

slika 2: izvedbeni primer krožnega dajalnika položaja po izumu, ko je montiran na merjeni sistem v vertikalnem prerezu;

slika 3: ravnina xy koordinatnega sistema z relevantnimi točkami za prikaz napake v izhodni informaciji

zaradi nepravilnosti osi A in A'.

V splošnem rotacijski merjeni sistemi, na primer robotski stroji ali drugi avtomatsko vodeni sistemi, vsebujejo primarni glavni del ter sekundarni glavni del, pri čemer se eden od teh delov, na primer primarni glavni del, krožno giba okrog osi A glede na drugega, na primer sekundarni glavni del. Možno je tudi obratno, namreč da se sekundarni glavni del krožno giba glede na primarni glavni del, vendar bomo zgolj za potrebe zadevnega opisa predpostavili, da se primarni glavni del krožno giba glede na sekundarni glavni del. Da lahko robotske stroje ali druge avtomatsko vodene sisteme upravljamo, potrebujemo informacijo o položaju posamičnih delov stroja. Zato je v splošnem potreben podatek o položaju, konkretnije kotu ali spremembi kota, med primarnim glavnim delom in sekundarnim glavnim delom merjenega sistema, za kar se uporabi krožne dajalnike položaja.

Krožni dajalnik položaja 2 po zadevnem izumu za določanje položaja enega od glavnih delov 1a, 1b merjenega sistema 1 glede na drugega od glavnih delov 1a, 1b merjenega sistema 1, prednostno za določanje kota ali spremembe kota med glavnima deloma 1a, 1b merjenega sistema 1, vsebuje dva merilna sklopa: primarni merilni sklop 2a in sekundarni merilni sklop 2b, pri čemer je primarni merilni sklop 2a prirejen za povezavo s primarnim glavnim delom 1a merjenega sistema 1, in je sekundarni merilni sklop 2b prirejen za povezavo s sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1.

En od omenjenih merilnih sklopov 2a, 2b ima funkcijo informacijskega merilnega sklopa, medtem ko ima drugi od omenjenih merilnih sklopov 2a, 2b funkcijo čitalnega merilnega sklopa. V znanem stanju tehnike so razkriti krožni dajalniki položaja, ki vsebujejo informacijski merilni sklop, na primer eno ali več krožnih magnetnih sledi na obroču, katerih magnetni zapis se spreminja glede na položaj, ter čitalni merilni sklop za branje informacijskega merilnega sklopa, na primer čitalno glavo s Hallovimi magnetnimi senzorji. Poleg magnetnih krožnih dajalnikov položaja so poznani tudi optični krožni dajalniki položaja, pri katerih informacijski merilni sklop je izveden kot optični obroč, ki vsebuje na primer optično sled z razdelbami različne optične odbojnosti razporejene v določenem rastru. Čitalni merilni sklop je izveden kot optična čitalna glava, ki vsebuje svetlobni vir, ki osvetljuje optično sled, zaslonke z razdelbami enakega rastra kot optična sled, ter fotodetektorja za zaznavanje deleža svetlobe, ki po odboju na optični sledi pride skozi zaslonko. Za svetlobni vir se večinoma uporablja infrardeče LED diode, ker se valovna dolžina infrardeče svetlobe dovolj razlikuje od valovnih dolžin vidne svetlobe, da je delovanje čitalnega merilnega sklopa skorajda popolnoma neodvisno od prisotnosti ali odsotnosti vidne svetlobe iz okolice.

Ena od poglobitvenih zamisli zadevnega izuma je, da se izdelajo izboljšani krožni dajalnik položaja 2, pri čemer sta, še predno je krožni dajalnik položaja 2 montiran na rotacijski merjeni sistem 1, primarni merilni sklop 2a in sekundarni merilni sklop 2b medsebojno rotacijsko povezana, da je omogočeno prosto krožno gibanje okrog osi A' enega od obeh merilnih sklopov 2a, 2b okoli drugega od obeh merilnih sklopov 2a, 2b. Na primer, ko je primarni merilni sklop 2a obroč z magnetnim zapisom in je sekundarni merilni sklop 2b čitalna glava, je omogočeno prosto krožno gibanje čitalne glave okoli obroča z

magnetnim zapisom. To nam omogoča, da je lahko krožni dajalnik položaja 2 z znanimi metodami umerjen na željeno natančnost merjenja položaja, prednostno kota ali spremembe kota, kot posledice krožnega gibanja enega od merilnih sklopov 2a, 2b glede na drugega od merilnih sklopov 2a, 2b okoli osi A', še predno je dajalnik položaja 2 montiran na merjeni sistem 1. Nato se krožni dajalnik položaja 2 montira na rotacijski merjeni sistem 1 z osjo vrtenja A, in sicer se primarni merilni sklop 2a dajalnika položaja 2 fiksno pritrdi na primarni glavni del 1a merjenega sistema 1, sekundarni merilni sklop 2b pa se na poseben, spodaj podrobneje obrazložen način, fleksibilno poveže s sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1, na tak način, da se krožno gibanje osi A' dajalnika položaja 2 okoli osi A zaradi netočne - ekscentrične montaže, ko os A ni povsem poravnana z osjo A', transformira v linearno gibanje, ki ga lahko pomerimo na znane načine in z matematičnimi metodami izračunamo pogrešek v izhodni informaciji, ki je posledica krožnega gibanja osi A' okoli osi A.

Krožni dajalnik položaja 2 po izumu, katerega izvedbeni primer je prikazan na sliki 1 in v prerezu na sliki 2, poleg zgoraj omenjenih merilnih sklopov, namreč primarnega merilnega sklopa 2a, ki je prirejen za fiksno povezavo s primarnim glavnim delom 1a merjenega sistema 1, in sekundarnega merilnega sklopa 2b, vsebuje tudi naslednje elemente:

- Mehansko povezavo 3 med primarnim merilnim sklopom 2a in sekundarnim merilnim sklopom 2b, ki omogoča medsebojno rotacijsko gibanje enega od obeh merilnih sklopov glede na drugega od obeh merilnih sklopov okrog osi A'.
- Ročico 4, ki je fiksno pritrjena glede na sekundarni merilni sklop 2b in se krožno giba okoli osi A' glede na primarni merilni sklop 2a.
- Korekcijski merilni element 5 z merilno točko M, ki je pritrjen na ročico 4, tako da je omogočeno gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 oziroma merilne točke M z ročico 4 okoli osi A' na razdalji d1.
- Omejevalno povezovalna sredstva 6, ki so prirejena za pritrditev na sekundarni glavni del 1b merjenega sistema 1 in za sodelovanje s korekcijskim merilnim elementom 5 na tak način, da se omogoči gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 vsebinsko le v linearni smeri, prednostno v radialni smeri glede na os A oziroma v smeri x koordinatnega sistema xyz, ki je prikazan na sliki 3 in ki je določen tako, da na x koordinatni osi leži merilna točka M in je ravnina xy pravokotna na os A, pri čemer je izhodišče koordinatnega sistema točka C, v kateri os A seka omenjeno ravnino; s čimer se ustvari fleksibilna povezava med sekundarnim merilnim sklopom 2b in sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1.
- Linearni senzor 7, ki linearni mehanski pomik pretvori v signal pomika, bodisi analogni ali digitalni, in sodeluje s korekcijskim merilnim elementom 5, tako da meri premik merilne točke M v linearni

smeri, prednostno v smeri osi x definiranega koordinatnega sistema. Linearni senzor 7 je fiksno pritrjen glede na sekundarni glavni del 1b merjenega sistema 1.

Za mehansko povezavo 3 je bistveno, da omogoča zanesljivo in ponovljivo rotacijsko gibanje primarnega merilnega sklopa 2a glede na sekundarni merilni sklop 2b, saj le na ta način krožni dajalnik položaja 2 omogoča želene rezultate.

Signal pomika linearnega senzorja 7 se z uporabo matematičnih metod, ki bodo primeroma opisane spodaj, uporabi za izračun pogreška pri določanju položaja, prednostno kota ali spremembe kota, v izhodni informaciji in posledično za korekcijo položaja v izhodni informaciji, namreč tistega pogreška, ki nastane zaradi zgoraj opisane netočne montaže krožnega dajalnika položaja 2 na merjeni sistem 1, in sicer netočne montaže, ki povzroči neujemanje osi A z osjo A' . Kot omenjeno, točka C predstavlja točko v kateri os A seka ravnino xy zgoraj definiranega koordinatnega sistema. Točka C' pa predstavlja točko v kateri os A' seka ravnino xy zgoraj definiranega koordinatnega sistema.

Predno je krožni dajalnik položaja 2 po zadevnem izumu montiran na merjeni sistem 1, se primarni merilni sklop 2a in sekundarni merilni sklop 2b, ki sta medsebojno povezana z mehansko povezavo 3, umeri na želeno točnost merjenja položaja na znane načine. Na primer, v enem od izvedbenih primerov, je želena točnost merjenja dosežena na tak način, da je mehanska povezava 3 izdelana in montirana med merilna sklopa 2a, 2b z dovolj majhnimi mehanskimi tolerancami, da omogoča želeno natančnost krožnega gibanja enega od merilnih sklopov 2a, 2b okrog osi A' , na primer čitalne glave 2b na konstantni razdalji do obroča z magnetnim zapisom 2a. V drugačnem izvedbenem primeru, ko mehanska povezava 3 ne zagotavlja dovolj majhnih mehanskih toleranc krožnega gibanja, umerimo krožni dajalnik položaja 2 na želeno točnost merjenja s primerjavo izhodne informacije z dovolj točnim referenčnim krožnim dajalnikom položaja in po potrebi dodatno obdelavo izhodne informacije.

Ko je krožni dajalnik položaja 2 po zadevnem izumu umerjen na želeno natančnost merjenja položaja, se ga montira na merjeni sistem 1 in sicer na sledeči način. Primarni merilni sklop 2a je fiksno pritrjen na primarni glavni del 1a merjenega sistema 1. Sekundarni merilni sklop 2b pa je fleksibilno povezan s sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1 preko omejevalno povezovalnih sredstev 6 ter korekcijskega merilnega elementa 5 na zgoraj opisani način. Taka montaža krožnega dajalnika položaja 2 po zadevnem izumu omogoča, da se primarni merilni sklop 2a krožno giba skupaj s primarnim glavnim delom 1a. Kadar os A in os A' nista poravnani, se sekundarni merilni sklop 2b zaradi fleksibilne povezave premika glede na sekundarni glavni del 1b merjenega sistema 1, ki je praviloma statičen, na tak način, da se krožno gibanje krožnega dajalnika položaja 2 oziroma točke C' okoli C pretvori v linearno gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 oziroma njemu pripadajoče merilne točke M , katere gibanje merimo z linearnim senzorjem 7.

Metoda umerjanja

Ko je krožni dajalnik položaja 2 po zadevnem izumu montiran na merjeni sistem 1 na zgoraj opisani način, se krožni dajalnik položaja 2 umeri na tak način, da se primarni glavni del 1a ter z njim primarni merilni sklop 2a zasuka in pri tem spremlja izhodno informacijo krožnega dajalnika položaja 2 in signal pomika linearnega senzorja 7. Zasuk merjenega sistema 1 se med umerjanjem lahko izvede za cel obrat, za del obrata, ali celo za več obratov. S poznavanjem konstrukcije krožnega dajalnika položaja 2 in načina montaže na merjeni sistem 1 lahko z matematičnimi metodami, ki bodo primeroma opisane v nadaljevanju s sklicevanjem na sliko 3, izračunamo pogrešek v položaju merjenega sistema 1, ki je izražen ali izrazljiv v izhodni informaciji. Z uporabo matematičnih metod v postopku umeritve je mogoče v prvem koraku izračunati amplitudo ekscentričnosti, ki je na sliki 3 predstavljena kot razdalja e med točkama C in C', ter fazo ekscentričnosti, ki je na sliki 3 izražena v kotu β , ki ga oklepajo točke C'CG ali HC'B. Iz amplitude e in faze β ekscentričnosti je nato v drugem koraku mogoče izračunati napako meritve zaradi ekscentričnosti, ki je na sliki 3 izražena v kotu α , ki ga odštejemo od izmerjene vrednosti kota φ_{mer} krožnega dajalnika položaja, da se izračuna pravi kot φ zasuka merjenega sistema navkljub netočni ekscentrični montaži:

$$\varphi = \varphi_{mer} - \alpha$$

Kot rečeno, slika 3 predstavlja xy ravnino zgoraj definiranega koordinatnega sistema in najpomembnejše točke v njem za predstavitev ene od možnih metod za uporabo v enem od izvedbenih primerov, ko krožni dajalnik položaja 2 meri kot merjenega sistema 1. Primarni merilni sklop 2a je v tem primeru informacijski merilni sklop, na primer magnetni obroč, ki je fiksno pritrjen na primarni glavni del 1a merjenega sistema 1, medtem ko je sekundarni merilni sklop 2b izveden kot čitalni merilni sklop, na primer magnetna čitalna glava, ki je fleksibilno povezana s sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1, kot je opisano zgoraj.

V izvedbenem primeru, ko se namesto magnetnega krožnega dajalnika položaja uporabi optični dajalnik položaja, je primarni merilni sklop 2a oziroma informacijski merilni sklop izveden kot obroč z optično sledjo, sekundarni merilni sklop 2b oziroma čitalni merilni sklop pa je izveden kot optični čitalec z optičnim virom svetlobe.

Slika 3 ne predstavlja realnih razmerij med dimenzijami, ampak je amplituda ekscentričnosti e zaradi nazornosti namerno pretirano velika. Točka C predstavlja središče kroženja merjenega sistema 1, kjer os A prebada ravnino xy, medtem ko točka C' predstavlja središče kroženja krožnega dajalnika položaja 2, kjer os A' prebada xy ravnino. Zaradi ekscentričnosti bo točka C' ob vrtenju primarnega glavnega dela 1a merjenega sistema 1 krožila okoli točke C na razdalji e , kar predstavlja amplitudo ekscentričnosti. Manjša krožnica ima središče v točki C in predstavlja kroženje merjenega sistema 1. Večja krožnica ima središče v točki C' in predstavlja kroženje krožnega dajalnika položaja 2. Točka J predstavlja trenutni

položaj sekundarnega merilnega sklopa 2b (čitalne glave). Izhodiščna točka B simbolično predstavlja fizično točko na primarnem merilnem sklopu 2a (magnetnem obroču), nad katero čitalna glava 2b oziroma krožni dajalnik položaja 2 izmeri kot $\varphi_{mer} = 0$. Kot β predstavlja fazo ekscentričnosti in ga oklepajo točke C'CG, pri čemer je daljica CG vzporedna daljici C'B. Merilna točka M se nahaja na korekcijskemu merilnemu elementu 5, kateremu je omejeno gibanje na tak način, da se lahko giba le v smeri osi x in je na konstantni razdalji d_1 od točke C', ker je ta razdalja določena z geometrijo ročice 4. Točki M je omejeno gibanje v smeri y osi, zato je njena vrednost v smeri y koordinate ves čas umeritve enaka nič.

Geometrijo ekscentričnosti opišemo s trikotnikom CC'M. V prvem koraku umeritve merjeni sistem 1 zavrtimo prednostno za en krog okrog točke C, pri čemer krožni dajalnik položaja 2 meri kot φ_{mer} (BC'J), linearni senzor 7 pa meri linearni pomik merilne točke M vzdolž koordinate x.

Trikotniku CC'M pripada kosinusna enačba:

$$d_1^2 = e^2 + m^2 - 2 e m \cos(\varphi + \beta),$$

pri čemer d_1 predstavlja dolžino ročice 4, e predstavlja amplitudo ekscentra (razdalja med C in C'), β predstavlja fazo ekscentra in m predstavlja trenutno oddaljenost točke M od koordinatnega izhodišča (x koordinata točke M).

Če je enačba rešena na m , dobimo enačbo:

$$m = e \cos(\varphi + \beta) + \sqrt{d_1^2 + e^2 (\cos^2(\varphi + \beta) - 1)}$$

Celoten člen s korenem razširimo v Taylorjevo vrsto:

$$m = e \cos(\varphi + \beta) + d_1 + \frac{e^2}{4d_1} (\cos(2(\varphi + \beta)) + 3) + \frac{e^4}{8d_1^3} (\cos^2(\varphi + \beta) + 1)^2 + 0 \left(\left(\frac{1}{d_1} \right)^4 \right)$$

Iz dobljenega je mogoče narediti dva zaključka:

- že drugi člen enačbe je reda $\frac{e^2}{4d_1}$, kar je za majhne e in velike d_1 praktično zanemarljivo, tretji člen pa je celo še veliko manjši; in
- linearne koeficiente je mogoče iz meritve izračunati s pomočjo Fourierove transformacije. Vsi členi Taylorjeve vrste imajo frekvenco višjo od fundamentalne, tako da jih je mogoče s Fourierovo transformacijo zlahka izločiti.

S temi utemeljitvami se lahko zgornjo enačbo za potrebe izračuna poenostavi na:

$$m = e \cos(\varphi + \beta) + \text{KONST.}$$

Pri čemer KONST. predstavlja konstantno vrednost, ki se ne spreminja s kotom φ .

V prvem koraku izračuna prvega približka amplitude in faze ekscentra je privzeto, da je pravilni kot merjenega sistema kot φ (GCM ali BC'F) enak kotu φ_{mer} (BC'J). Ko nad signalom m v odvisnosti od vrtenja merjenega sistema in merjenjem φ_{mer} izvedemo Fourierovo transformacijo, iz rezultatov dobimo amplitudo e ekscentra, oziroma njen prvi približek, in fazo β ekscentra, oziroma njen prvi približek, saj sta namreč amplituda in faza ekscentra enaki amplitudi in fazi prvega harmonika Fourierove transformacije.

V drugem koraku je izračunan kot α napake, ki predstavlja razliko med pravilnim kotom zasuka φ in izmerjenim kotom referenčnega sistema φ_{mer} , na sledeč način. Na sliki 3 je kot α prikazan med točkami JC'F, ker pa je daljica C'F po definiciji vzporedna z x osjo pa je to tudi kot med točkami C'MC.

Tudi pri tem prvem izračunu približka kota α se predpostavi, da je pravilni kot merjenega sistema φ (GCM ali BC'F) enak kotu φ_{mer} (BC'J). Z uporabo sinusnega izreka:

$$\frac{d1}{\sin(\varphi + \beta)} = \frac{e}{\sin(\alpha)}$$

se izpelje enačbo za kot α :

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{e}{d1} \sin(\varphi + \beta) \right)$$

Čeprav je enačba dovolj enostavna za izračun, se jo lahko za boljšo predstavbo razvije v Taylorjevo vrsto:

$$\alpha = \frac{e}{d1} \sin(\varphi + \beta) + \frac{1}{6} \left(\frac{e}{d1} \right)^3 \sin^3(\varphi + \beta) + O \left(\left(\frac{e}{d1} \right)^5 \right)$$

Iz slednje enačbe je razvidno, da je za majhne amplitude ekscentra e in velike dolžine $d1$ ročice dominanten le prvi člen, zato je razmerje e proti $d1$ zelo pomembno. Z daljšo ročico $d1$ se točnost izračuna napake oziroma umeritve povečuje.

Za izračun prvega približka kota α napake, kot že zgoraj omenjeno, se za kot φ vzame kar izmerjeni φ_{mer} , po potrebi pa se lahko izvede še eno ali več kasnejših iteracij izračuna, pri čemer se pri vsaki naslednji iteraciji za kot φ vzame izmerjeni kot, ki je popravljen s kotom napake α iz prejšnje iteracije $\varphi = \varphi_{\text{ref}} - \alpha$.

Splošno se lahko zapiše, da se za kot φ v iteraciji n vzame kot: $\varphi_n = \varphi_{n-1} - \alpha_{n-1}$.

Na ta način je mogoče za vse vrednosti kota φ_{mer} izračunati pripadajoče kote α napake, posledično pa pravilen kot zasuka φ merjenega sistema, in na tak način do zadostne točnosti umeriti krožni dajalnik položaja 2 po montaži na merjeni sistem 1.

Vse matematične izračune v zgoraj opisani metodi se izvaja na znane načine s spominsko procesorskimi zmogljivostmi, ki so dodane krožnemu dajalniku položaja 2 po zadevnem izumu.

Izvedbeni primer

Na sliki 1 in 2 je prikazan izvedbeni primer krožnega dajalnika položaja 2, ki je montiran na merjeni sistem 1. Razlika med osjo A in osjo A' je na slikah 1 in 2 poudarjena zaradi nazornosti. V dejanskih primerih je ta razlika precej manjša, in na slikah s tem merilom ne bi bila razvidna. Primarni glavni del 1a merjenega sistema 1 je prikazan shematsko in je v konkretnem izvedbenem primeru statični del stroja. Sekundarni glavni del 1b je v tej izvedbi rotirajoča robotska roka.

Primarni merilni sklop 2a je izveden kot optični obroč, na primer obroč s komercialnim imenom REX proizvajalca Renishaw, sekundarni merilni sklop 2b pa optična čitalna glava, na primer čitalna glava s komercialnim imenom VIONIC™ proizvajalca Renishaw. Izbrani optični obroč in optična čitalna glava dosegata zadostno točnost, in sicer boljše od dveh kotnih sekund.

Mehanska povezava 3 je izvedena kot sistem krogličnih ležajev 3c, ki povezuje in omogoča krožno gibanje med primarnim mehanskim delom 3a in sekundarnim mehanskim delom 3b. Sistem krogličnih ležajev 3c je sestavljen iz dveh setov prednapetih jeklenih krogličnih ležajev, da se zagotovi zadostna stabilnost kroženja. Primarni mehanski del 3a je na eni strani pritrjen na primarni merilni sklop 2a (optični obroč) na drugi strani pa povezan s sistemom krogličnih ležajev 3c. Sekundarni mehanski del 3b je na eni strani pritrjen na sekundarni merilni sklop 2b (optični čitalec) na drugi strani pa povezan s sistemom krogličnih ležajev 3c. Ročica 4, na kateri je nameščen korekcijski merilni element 5, je v tem izvedbenem primeru integrirana z mehansko povezavo 3, konkretno fiksno integrirana s sekundarnim mehanskim delom 3b, saj ročica 4 zagotavlja kroženje korekcijskega merilnega elementa 5 okrog osi A' na razdalji d_1 , sekundarni mehanski del 3b pa zagotavlja kroženje sekundarnega merilnega sklopa 2b (optičnega čitalca) okrog osi A', oboje glede na primarni merilni sklop 2a (optični obroč). Mehanska povezava 3 je v tem izvedbenem primeru izdelana iz jekla, lahko pa je tudi iz drugih materialov, kot na primer iz aluminija.

Korekcijski merilni element 5 je izveden kot standardna kroglica iz safirja za uporabo na merilnih napravah s komercialnim imenom Stylus, proizvajalca Renishaw. Odstopanje od kroglaste oblike mora

biti minimalno, saj odstopanja rezultirajo v napaki merjenja. Merilna točka M je v središču kroglice. Kroglica je lahko izdelana tudi iz drugih materialov, kot so rubin, jeklo in drugi materiali, ki omogočajo dovoljšno trdnost in obstojnost materiala ter zanesljivost in natančnost oblike.

Omejevalno povezovalna sredstva 6 so v tem primeru izvedena kot jeklena mizica 6a z gladko površino, po kateri drsi korekcijski merilni element 5, ter vzmet 6b, ki je na eni strani pritrjena na mizico 6a in na drugi strani na ročico 4 oziroma na sekundarni mehanski del 3b mehanske povezave 3. Mizica 6a in vzmet 6b, ki pritiska korekcijski merilni element 5 ob površino mizice 6a, omejujeta gibanje merilnega elementa 5 (in točke M) v y smeri koordinatnega sistema, kot je prikazan na sliki 3. Omejevalno povezovalna sredstva 6 so preko mizice 6a fiksno pritrjena na sekundarni glavni del 1b merjenega sistema 1. Omejevalno povezovalna sredstva 6 torej po eni strani omejujejo gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 v vseh smereh razen v smeri x, po drugi strani pa zagotavljajo fleksibilno povezavo med sekundarnim glavnim delom 1b in sekundarnim merilnim sklopom 2b.

Omejevalno povezovalna sredstva 6 so v drugačnem izvedbenem primeru lahko izvedena tudi na druge načine, na primer, z linearnimi ležaji, ki so fiksno pritrjeni glede na sekundarni glavni del 1b in ki omejujejo gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 v smeri y in omogočajo gibanje le v smeri x, s čimer je ustvarjena tudi fleksibilna povezava med sekundarni merilnim sklopom 2b oziroma korekcijskim merilnim elementom 5 in sekundarnim glavnim delom 1b merjenega sistema 1.

Linearni senzor 7 je v tem izvedbenem primeru sestavljen iz telesa 7a linearnega senzorja 7 in merilne ročice 7b, na primer linearni senzor s komercialnim imenom Metro proizvajalca Heidenhain. Telo 7a linearnega senzorja 7 je fiksno pritrjeno glede na sekundarni glavni del 1b merjenega sistema 1, merilna ročica 7b pa sodeluje s korekcijskim merilnim elementom 5, tako da lahko meri njegov linearni pomik v smeri x osi definiranega koordinatnega sistema. Točnost merjenja linearnega senzorja je boljša od enega mikrometra, prednostno boljša od 0,5 mikrometra.

V prikazanem izvedbenem primeru (na sliki 1 in 2) je zelo pomembno, da je površina mizice 6a zelo gladka in čista, saj neravnine ali nečistoče povzročajo neželeno gibanje korekcijskega merilnega elementa 5 v smeri y osi, kar povzroči znatne pogreške pri merjenju.

Krožni dajalnik položaja po izumu je mogoče uporabiti kot samostojni izboljšani krožni dajalnik položaja, katerega umeritev po montaži je enostavnejša kot pri do sedaj poznanih krožnih dajalnikih položaja, in ki po umeritvi ostane na merjenem sistemu.

Krožni dajalnik položaja po izumu pa lahko uporabimo tudi kot referenčni krožni dajalnik položaja, ki ga uporabimo za umerjanje običajnega krožnega dajalnika položaja, po tem ko je slednji montiran na merjeni sistem, pri čemer referenčni krožni dajalnik položaja po umeritvi odmontiramo in ga uporabimo za druge montaže. V tem primeru se na merjeni sistem najprej montirata referenčni krožni dajalnik

položaja in običajni krožni dajalnik položaja. Nato se umeri referenčni krožni dajalnik položaja, katerega do želene točnosti popravljeno izhodno informacijo uporabimo za umeritev običajnega krožnega dajalnika položaja. Po slednji umeritvi lahko referenčni krožni dajalnik položaja odmontiramo in ga uporabimo za naslednjo montažo in umeritev.

Krožni dajalnik položaja po izumu je mogoče izboljšati z dodajanjem linearnih senzorjev (ki niso prikazani na slikah), ki merijo morebitni pomik merilne točke M v ostalih smereh. Na primer en dodatni linearni senzor meri neželeni pomik korekcijskega merilnega elementa 5 v smeri y osi, ki nastane na primer zaradi ne gladkosti površine mizice 6a ali nečistoč na mizici 6a, kar omogoča da se ta pomik upošteva pri izračunu napake zaradi montaže. Nadalje, se lahko doda še en linearni senzor (ki ni prikazan na slikah), ki meri morebitne neželene pomike korekcijskega merilnega elementa 5 v smeri z osi, kar omogoča da se ta pomik upošteva pri izračunu oziroma popravljanju napake zaradi montaže.

Patentni zahtevki

1. Krožni dajalnik položaja (2) za določanje položaja enega od glavnih delov (1a, 1b) merjenega sistema (1) glede na drugega od glavnih delov (1a, 1b) merjenega sistema (1), pri čemer se en od glavnih delov (1a, 1b) merjenega sistema (1) krožno giba okrog osi (A) glede na drugega od glavnih delov (1a, 1b) merjenega sistema (1), vključuje primarni merilni sklop (2a), ki je prirejen za povezavo s primarnim glavnim delom (1a) merjenega sistema (1), in sekundarni merilni sklop (2b), ki je prirejen za povezavo s sekundarnim glavnim delom (1b) merjenega sistema (1), pri čemer ima en od merilnih sklopov (2a, 2b) funkcijo informacijskega merilnega sklopa, drugi od omenjenih merilnih sklopov (2a, 2b) pa funkcijo čitalnega merilnega sklopa, označen s tem, da krožni dajalnik položaja (2) dodatno vključuje:
 - mehansko povezavo (3) med primarnim merilnim sklopom (2a) in sekundarnim merilnim sklopom (2b), ki omogoča medsebojno rotacijsko gibanje enega od obeh merilnih sklopov glede na drugega od obeh merilnih sklopov okrog osi (A');
 - ročico (4), ki je je fiksno pritrjena glede na sekundarni merilni sklop (2b) in se krožno giba okoli osi (A') glede na primarni merilni sklop (2a);
 - korekcijski merilni element (5) z merilno točko (M), ki je pritrjen na ročico (4), tako da je omogočeno gibanje korekcijskega merilnega elementa (5) oziroma merilne točke (M) z ročico (4) okoli osi (A') na razdalji (d1);
 - omejevalno povezovalna sredstva (6), ki so prirejena za pritrditev na sekundarni glavni del (1b) merjenega sistema (1) in za sodelovanje s korekcijskim merilnim elementom (5) na način, da se omogoči gibanje korekcijskega merilnega elementa (5) vsebinsko le v linearni smeri, prednostno v radialni smeri glede na os (A) oziroma v smeri (x) koordinatnega sistema (xyz), ki je določen tako, da na (x) koordinatni osi leži merilna točka (M) in je ravnina (xy) pravokotna na os (A), pri čemer je izhodišče koordinatnega sistema točka (C), v kateri os (A) seka omenjeno ravnino; pri čemer omejevalno povezovalna sredstva (6) ustvarijo fleksibilno povezavo med sekundarnim merilnim sklopom (2b) in sekundarnim glavnim delom (1b) merjenega sistema (1); in
 - linearni senzor (7), ki je fiksno pritrjen glede na sekundarni glavni del (1b) merjenega sistema (1) in sodeluje s korekcijskim merilnim elementom (5), tako da meri premik merilne točke (M) v linearni smeri, prednostno v smeri osi (x) definiranega koordinatnega sistema.
2. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevku 1, označen s tem, da ima primarni merilni sklop (2a) funkcijo informacijskega merilnega sklopa in je izveden kot obroč z optično sledjo, sekundarni merilni sklop (2b) pa ima funkcijo čitalnega merilnega sklopa in je izveden kot optična čitalna glava.
3. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevku 1, označen s tem, da ima primarni merilni sklop (2a) funkcijo informacijskega merilnega sklopa in je izveden kot obroč z magnetnim zapisom, sekundarni merilni sklop (2b) pa ima funkcijo čitalnega merilnega sklopa in je izveden kot magnetni

senzor.

4. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevkih 1 do 3, označen s tem, da mehanska povezava (3) vključuje sistem krogličnih ležajev (3c), primarni mehanski del (3a) in sekundarni mehanski del (3b), pri čemer sistem krogličnih ležajev (3c) povezuje in omogoča krožno gibanje med primarnim mehanskim delom (3a) in sekundarnim mehanskim delom (3b), in pri čemer je primarni mehanski del (3a) pritrjen na primarni merilni sklop (2a), sekundarni mehanski del (3b) pa je pritrjen na sekundarni merilni sklop (2b).
5. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevkih 1 do 4, označen s tem, da je ročica (4) integrirana s sekundarnim mehanskim delom (3b).
6. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevkih 1 do 5, označen s tem, da je korekcijski merilni element (5) izveden kot kroglica iz safirja.
7. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevkih 1 do 6, označen s tem, da so omejevalno povezovalna sredstva (6) izvedena kot jeklena mizica (6a) z gladko površino, po kateri drsi korekcijski merilni element (5), in vzmet (6b), ki je na eni strani pritrjena na mizico (6a) in na drugi strani na ročico (4) ali na sekundarni mehanski del (3b) mehanske povezave (3).
8. Krožni dajalnik položaja (2) po zahtevkih 1 do 6, označen s tem, da vsebuje vsaj en dodatni linearni senzor, ki meri pomik korekcijskega merilnega elementa (5) v drugih smereh, prednostno v smeri (y) osi.
9. Metoda umerjanja krožnega dajalnika položaja (2), ki vključuje določitev napake merjenja položaja v izhodni informaciji krožnega dajalnika položaja (2), ki nastane zaradi nepravilnosti osi (A) in (A') zaradi ekscentrične montaže krožnega dajalnika položaja (2) na merjeni sistem (1), označena s tem, da vsebuje naslednje korake:
 - a. spremljanje kota (φ_{mer}) v izhodni informaciji ter signala (m) pomika linearnega senzorja (7) med zasukom merjenega sistema (1) za del obrata, celotni obrat, ali več obratov, prednostno za en obrat;
 - b. izračun amplitude ekscentričnosti, ki se odraža v razdalji (e), ter faze ekscentričnosti, ki je izražena v kotu (β) iz podatkov o spreminjanju kota (φ_{mer}) in signala pomika linearnega senzorja (7);
 - c. izračun različnih vrednosti kota (α), ki predstavlja napako v merjenju, v odvisnosti od spreminjanja kota (φ_{mer}).
10. Metoda po zahtevku 9, označena s tem, da se za izračun približka amplitude ekscentričnosti (e) ter

približka faze ekscentričnosti (β) v koraku b uporabi Fourierovo transformacijo, ki jo izvedemo nad signalom (m), pri čemer je približek amplitude ekscentričnosti (e) enak amplitudi prvega harmonika Fourierove transformacije, približek faze ekscentričnosti (β) pa je enak fazi prvega harmonika Fourierove transformacije.

11. Metoda po zahtevkih 9 in 10, označena s tem, da se v koraku c prvi približek kota (α) izračuna po naslednji enačbi:

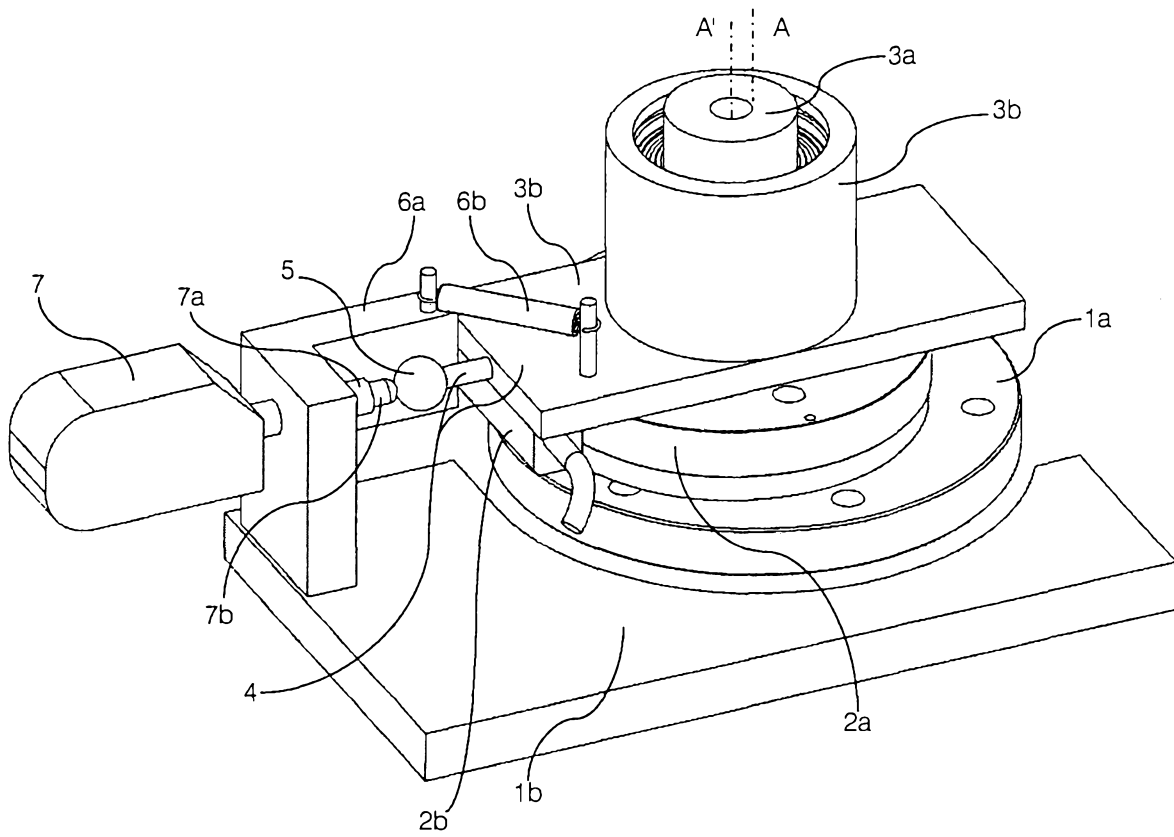
$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{e}{d_1} \sin(\varphi + \beta) \right)$$

pri čemer je pri izračunu poenostavljeno, da je kot (φ) enak izmerjenemu kotu (φ_{mer}).

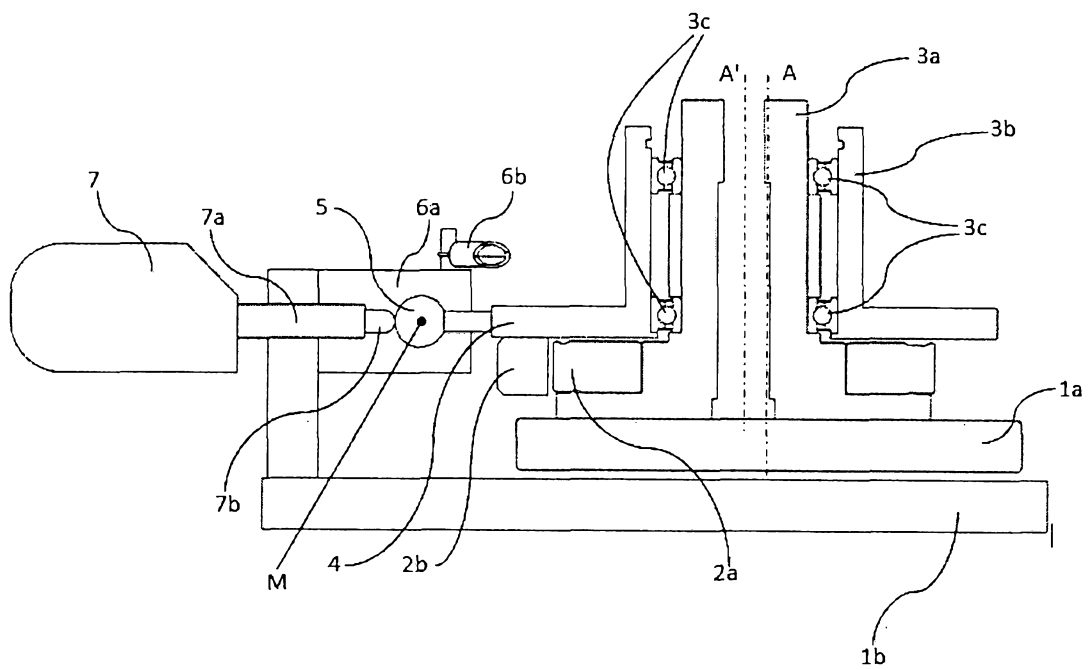
12. Metoda po zahtevku 11, označena s tem, da se izračun kota (α) v koraku c izvede v več iteracijah, pri čemer v prvi iteraciji privzamemo, da je kot (φ) enak izmerjenemu kotu (φ_{mer}), v vsaki naslednji iteraciji n pa se za kot (φ) upošteva rezultat iz predhodne iteracije po sledeči enačbi:

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} - \alpha_{n-1}$$

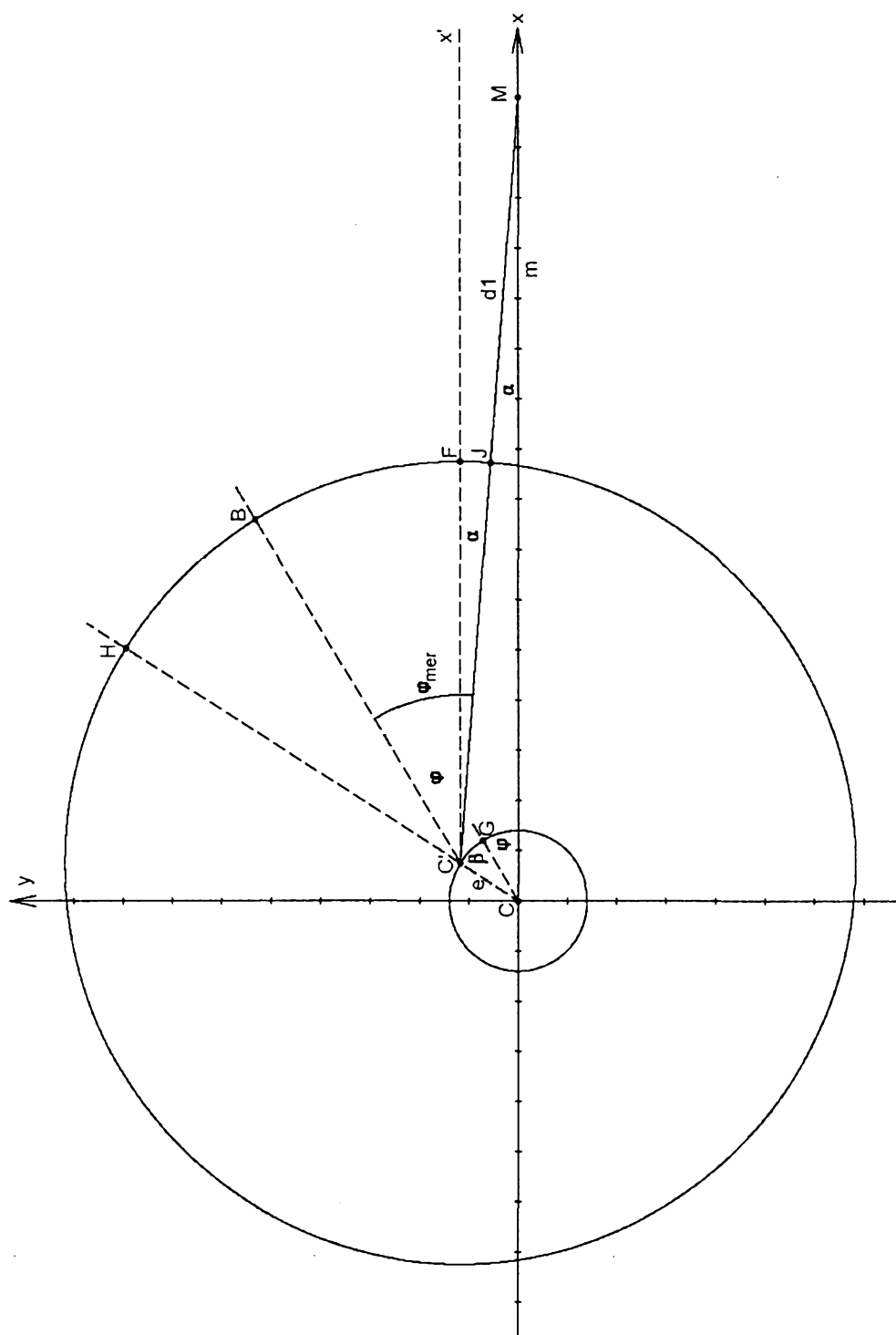
13. Metoda po zahtevkih 9 do 12, pri čemer se pri izračunu amplitude ekscentričnosti (e), faze ekscentričnosti (β) in kota (α) uporabi signal pomika dodatnih linearnih senzorjev.
14. Metoda umerjanja drugih krožnih dajalnikov položaja s pomočjo krožnega dajalnika položaja (2) po zahtevkih 1 do 8 kot referenčnega krožnega dajalnika položaja, ki vključuje korake:
- montaža drugega krožnega dajalnika položaja in referenčnega krožnega dajalnika položaja (2) na merjeni sistem (1);
 - umeritev referenčnega krožnega dajalnika položaja (2) na želeno natančnost merjenja po metodi po zahtevkih 9 do 13;
 - umeritev drugega dajalnika položaja s primerjavo izhodne informacije drugega dajalnika položaja z izhodno informacijo umerjenega referenčnega krožnega dajalnika položaja (2).
15. Metoda umerjanja po zahtevku 14, označena s tem, da koraku c sledi dodatni korak odstranitve referenčnega krožnega dajalnika položaja (2).
16. Uporaba krožnega dajalnika položaja (2) po zahtevkih 1 do 8 kot referenčnega krožnega dajalnika položaja za umerjanje drugih krožnih dajalnikov položaja.



Slika 1



Slika 2



Slika 3