



(12) PATENT

(19) NO

(11) 338403

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

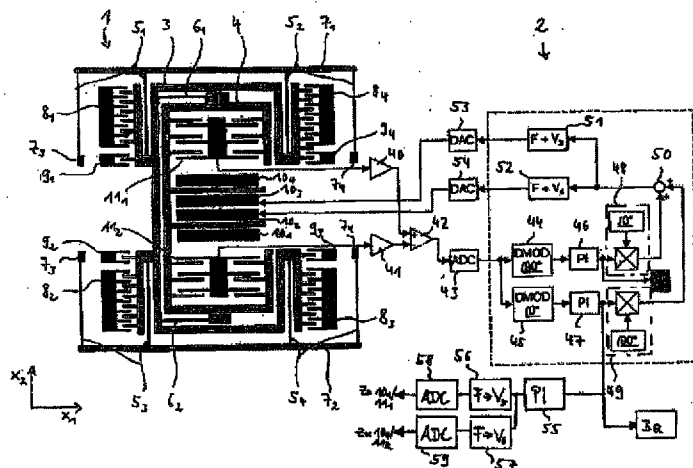
G01C 19/56 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20061945	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2004.11.26 PCT/EP2004/13447
(22)	Inng.dag	2006.05.02	(85)	Videreføringsdag	2006.05.02
(24)	Løpedag	2004.11.26	(30)	Prioritet	2003.12.23, DE, 103 60 962
(41)	Alm.tilgj	2006.07.24			
(45)	Meddelt	2016.08.15			
(73)	Innehaver	Litef GmbH, Lörracher Strasse 18, DE-79115 FREIBURG, Tyskland			
(72)	Oppfinner	Eberhard Handrich, Keltenring 104, DE-79199 KIRCHZARTEN, Tyskland			
		Wolfram Geiger, c/o Litef GmbH, Lörracher Strasse 18, DE-79115 FREIBURG, Tyskland			
(74)	Fullmektig	Acapo AS, Postboks 1880 Nordnes, 5817 BERGEN, Norge			

(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte for å kompensere et coriolisgyroskop og coriolisgyroskop derav
(56)	Anførte publikasjoner	US 2003061877 A1 WO 03058167 A1
(57)	Sammendrag	

Det beskrives en fremgangsmåte for kvadraturbiaskompensering i et coriolisgyroskop, hvilken resonator (1) er i form av et koblet system omfattende en første og en andre lineær oscillator (3, 4), og kvadraturbiasen for coriolisgyroskopet blir bestemt. Et elektrostatisk felt blir produsert ved å variere den innbyrdes justeringen av de to oscillatorene (3, 4) med hensyn til hverandre, hvor justeringen (styrken) på det elektrostatiske feltet blir regulert slik at den bestemte kvadraturbiasen er så liten som mulig.



Den foreliggende oppfinnelsen vedrører en fremgangsmåte for kvadraturbiaskompensering i et coriolisgyroskop, og et coriolisgyroskop som er egnet for dette formålet.

- 5 Coriolisgyroskop (også vist til som vibrasjonsgyroskop), blir mer og mer brukt for navigasjonsformål; de har et massesystem som fås til å oscillere. Hvert massesystem har generelt et stort antall oscilleringsmoduser, som er initialt uavhengig av hverandre. For å drive et coriolisgyroskop blir en spesifikk oscilleringsmodus for massesystemet kunstig utøvd, og dette henvises til i den
- 10 etterfølgende tekst som "eksiteringsoscillering". Når coriolisgyroskopet blir rotert, forekommer corioliskrefter, som tar ut energi fra eksiteringsoscilleringen for massesystemet, og dermed overfører en ytterligere oscilleringsmodus for massesystemet, som henvises til i den etterfølgende teksten som den "målte oscilleringen". For å kunne bestemme rotasjoner i coriolisgyroskopet blir den målte oscilleringen avlyttet og et tilhørende målt signal blir undersøkt for å bestemme om
- 15 endringer har funnet sted i amplituden for den målte oscilleringen, som representerer et mål for rotasjonen på coriolisgyroskopet. Coriolisgyroskop kan være i formen både et åpen-sløyfe system og et lukket-sløyfe system. I et lukket-sløyfe system blir amplituden for den målte oscilleringen kontinuerlig tilbakestillt til en fast verdi –
- 20 fortrinnsvis null, via respektive reguleringsløkker, og tilbakestillingskreftene blir målt.

- Massesystemet i coriolisgyroskopet (som også henvises til i den etterfølgende teksten som "resonator") kan i dette tilfellet være konstruert på mange ulike måter. For eksempel er det mulig å anvende et integral massesystem. Alternativt er det
- 25 mulig å splitte massesystemet inn i to oscillatorer, som er koblet til en annen via et fjærsystem og kan utføre relative bevegelser med hensyn til hverandre. For eksempel er det kjent å anvende et koblet system, omfattende to lineære

oscillatorer, og dette blir også referert til som et lineært dobbelt oscillatorsystem. Dersom et koblet system slik som dette blir anvendt, blir da justeringsfeil for de to oscillatorene med hensyn til hverandre uunngåelig, på grunn av produksjonstoleranser. Justeringsfeilene for de oscillatorene med hensyn til

5 hverandre produserer en null-feil komponent i det målte rotasjonshastighetssignalet, den såkalte "kvadraturbias" (eller for å være mer presis: en kvadraturbias komponent).

Fremgangsmåter slik som disse er beskrevet for eksempel i dokumentene US-A-10 2003/061877, WO-A-03/058167 og US-A-6,067,858, blir anvendt for å kompensere for kvadraturbiasen. Vekslende krefter blir anvendt for å kompensere for kvadraturbiasen i denne fremgangsmåten.

Formålet som den foreliggende oppfinnelsen er basert på er å spesifisere en

15 fremgangsmåte og et coriolisgyroskop som gjør det mulig å kompensere for en kvadraturbias komponent slik som denne.

Ifølge oppfinnelsen blir dette formålet oppnådd ved en fremgangsmåte for kvadraturbiaskompensering for en resonator som har to lineære oscillatorer som

20 beskrevet i patentkrav 1. Oppfinnelsen tilveiebringer også en utførelse av et coriolisgyroskop som er egnet er anvendbar for dette formålet, som beskrives i patentkrav 4. Fordelaktige utførelser og utviklinger av oppfinnelsens omfang kan finnes i de respektive avhengige krav.

25 For å hjelpe forståelsen av den tekniske bakgrunnen av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen, vil de fysiske prinsippene for et coriolisgyroskop bli kort forklart igjen i den etterfølgende beskrivelsen, med henvisning til eksempelet av et lineært dobbelt-oscillatorsystem.

30 Corioliskraften kan representeres som:

$$\vec{F} = 2m \vec{v}_s \times \vec{\Omega} \quad [1]$$

$\vec{F}$ corioliskraft

m Oscillatorens masse

35 $\vec{v}_s$ Oscillatorens fart

$\vec{\Omega}$ Rotasjonshastighet

Dersom massen som reagerer mot corioliskraften er lik den oscillerende massen, og dersom oscillatoren blir drevet ved den naturlige frekvensen ω , så:

$$2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad [2]$$

5 Oscillatorfarten er gitt ved:

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad [3]$$

hvor

$\vec{v}_{s0}$ oscillatoramplitude

10 ω naturlig oscillatorfrekvens

Oscillatoren og coriolisakselerasjonene er dermed gitt ved:

$$\begin{aligned} \vec{a}_s &= \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t \\ \vec{a}_s &= 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega} \end{aligned} \quad [4]$$

20

De to akselerasjonsvektorene er derfor spatiale rettinkel til hverandre og er offset gjennom 90° med hensyn til hverandre i tidsfunksjonen (spatial- og tidsortogonalitet).

25 Disse to kriteriene kan anvendes for å separere oscillatorakselerasjonen $\vec{a}_s$ fra coriolisakselerasjonen $\vec{a}_c$. Forholdet for de ovennevnte akselerasjonsamplitudene a_c og a_s er:

$$30 \quad \frac{a_c}{a_s} = \frac{2\omega}{\omega} \quad (5)$$

35 Dersom rotasjonshastigheten er $\Omega = 5^\circ/h$, og den naturlige frekvensen for oscillatoren er $f_s = 10kHz$, så:

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

45 For en nøyaktighet på $5^\circ/h$, må uønskede koblinger for den første oscillatoren til den andre oscillatoren ikke overstige $7,7 \cdot 10^{-10}$, eller må være konstant ved denne verdien. Dersom massesystemet, omfattende to lineære oscillatorer, anvendes, som er koblet til hverandre via fjærelementer, så er nøyaktigheten for den spatiale ortogonaliteten begrenset på grunn av justeringsfeilen for fjærelementene mellom

oscilleringsmodusen og målingsmodusen. Den oppnåbare nøyaktigheten (begrenset av produksjonstoleranser) er 10^{-3} til 10^{-4} . Nøyaktigheten på tidsortogonaliteten er begrenset av elektronikkens fasenøyaktighet ved, for eksempel 10 kHz, som kan likeledes følge kun i det meste 10^{-3} til 10^{-4} . Dette betyr at akselerasjonsforholdet som

5 definert ovenfor kan ikke tilfredsstilles.

Realistisk er resultantfeilen i det målte akselerasjonsforholdet a_c/a_s :

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ til } 10^{-8} \quad (7)$$

10

Spatialfeilen resulterer i en såkalt kvadraturbias B_Q , som sammen med tidsfasefeilen Δ_φ , resulterer i en bias B:

$$\begin{aligned} B_Q &= 6,5 \cdot 10^{60} / h \text{ til } 6,5 \cdot 10^{50} / h \\ \Delta_\varphi &= 10^{-3} \text{ til } 10^{-4} \\ B &= B_Q \cdot \Delta_\varphi = 6,500^\circ / h \text{ til } 65^\circ / h \end{aligned} \quad (8)$$

15

Kvadraturbiasen resulterer derfor i en hovedrestriksjon for målenøyaktigheten. I dette tilfellet skal det bemerkes at den ovennevnte feilanalysen tar hensyn til kun den direkte koblingen for oscilleringsmodusen til målingsmodusen. Ytterligere kvadraturbias-komponenter eksisterer også og forekommer for eksempel som et resultat av koblinger med andre oscilleringsmoduser.

20

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen for kvadraturbiaskompensering kan anvendes spesielt til coriolisgyroskop, hvilke resonatorer er i form av koblede systemer som omfatter minst en første og en andre lineær oscillator, og har de følgende trinn:

25

- å bestemme oscillatorsystemets kvadraturbias,
 - å produsere et elektrostatisk felt for å kunne variere den innbyrdes justeringen
- 30 for de to oscillatorene med hensyn til hverandre, hvor justeringen/styrken på det elektrostatiske feltet blir regulert slik at den bestemte kvadraturbiasen er så liten som mulig.

Den totale kvadraturbiasen for oscillatorsystemet blir fortrinnsvis bestemt i dette tilfellet. Dette blir fortrinnsvis gjort ved demodulering av et målt signal, som blir produsert ved hjelp av målingselektroder, med 0° og egnet tilbakestilling. Alternativt er det mulig å tilsiktet bestemme kun en del av kvadraturbiasen, som blir produsert

35

av justeringsfeilen for de to lineære oscillatorene med hensyn til hverandre. Uttrykket "kvadraturbias" dekker begge alternativene.

5 Kvadraturbiasen blir derfor eliminert ved sitt startpunkt i seg selv, dvs. mekanisk justeringsfeil for de to oscillatorene med hensyn til hverandre blir kompensert for ved hjelp av elektrostatisk kraft som utøves på én eller begge oscillatorene og blir produsert av det elektrostatiske feltet.

10 Coriolisgyroskopet har første og andre fjærelementer, hvor den første oscillatoren er tilkoblet ved hjelp av de første fjærelementene til en gyroramme på coriolisgyroskopet, og den andre oscillatoren blir tilkoblet ved hjelp av andre fjærelementer til den første oscillatoren. Det elektrostatiske feltet i dette tilfellet resulterer i en endring i justeringen på de første fjærelementene og/eller en endring i justeringen på de andre fjærelementene. Justeringen på de andre fjærelementene
15 blir fortrinnsvis variert ved å variere posisjonen/justeringen for den andre oscillatoren ved hjelp av det elektrostatiske feltet. Analogt til dette blir justeringen på de første fjærelementene fortrinnsvis variert ved å variere posisjonen/justeringen på den første oscillatoren ved hjelp av det elektrostatiske feltet. Endringen i posisjoner/justeringer på oscillatorene i dette tilfellet resulterer i bøyning av fjærelementene som er festet til
20 oscillatorene, og dermed gjør det mulig å korrigere tilhørende justeringsvinkler for de første fjærelementene med hensyn til de andre fjærelementene.

I én bestemt foretrukket utførelse blir det elektriske feltet anvendt for å variere justeringsvinkler på de første og andre fjærelementene slik at justeringene på de
25 første og andre fjærelementene blir gjort ortogonale med hensyn til hverandre. Idet de har blitt gjort ortogonale på denne måten, så kompenserer dette for kvadraturbiasen (komponent) som blir produsert på denne måten. Dersom det finnes noen ytterligere bidrag til kvadraturbiasen, så blir vinkelfeilen med hensyn til ortogonalitet justert slik at den totale kvadraturbiasen forsvinner. Justeringsvinklene
30 for de andre fjærelementene med hensyn til den første oscillatoren blir fortrinnsvis variert ved hjelp av de elektrostatiske feltet, og justeringsvinklene for de første fjærelementene med hensyn til gyrorammen på coriolisgyroskopet blir ikke endret. Imidlertid er det også mulig å anvende det elektrostatiske feltet for å variere kun justeringsvinklene på de første fjærelementene, eller å variere justeringsvinklene på
35 både de første og andre fjærelementene.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen tilveiebringer videre et coriolisgyroskop, hvilken resonator er i form av et koblet system omfattende minst én første og én andre lineær oscillator, og som har

- en anordning for produksjon av et elektrostatisk felt som ved hjelp av justeringen av de to oscillatorene med hensyn til hverandre kan varieres,
- en anordning for å bestemme en kvadraturbias som blir forårsaket av justeringsfeil på de to oscillatorene med hensyn til hverandre og ytterligere koblingsinnretninger, og
- en reguleringsløyfe, hvor reguleringsløyfen regulerer styrken på det elektrostatiske feltet som en funksjon av den bestemte kvadraturbiasen, slik at den bestemte kvadraturbiasen er så liten som mulig.

Coriolisgyroskopet har første og andre fjærelementer, hvor de første fjærelementene tilkobler den første oscillatoren til gyrorammen på coriolisgyroskopet, og de andre fjærelementene kobler den andre oscillatoren til den første oscillatoren. Justeringene på de første og andre fjærelementene er i dette tilfellet fortrinnsvis rettvinklet i forhold til hverandre. Fjærelementene kan i dette tilfellet være av en hvilken som helst form.

Det har blitt oppdaget å være fordelaktig for den andre oscillatoren at den er festet eller fastspent på den første oscillatoren "ved én ende". "Fastspent ved én ende" kan i dette tilfellet ikke bare forstås bokstavelig talt men også i en generell mening. Generelt betyr festet eller fastspent "ved én ende" at kraften blir innført fra den første oscillatoren til den andre oscillatoren hovedsakelig fra én "side" på den første oscillatoren. Dersom for eksempel oscillatorsystemet skulle være konstruert på en slik måte at den andre oscillatoren grenser til den første oscillatoren og er tilkoblet til den ved hjelp av andre fjærelementer, så vil uttrykket "fastspent i eller festet ved én ende" antyde det følgende: den andre oscillatoren blir justert på nytt for bevegelsen på den første oscillatoren, hvor den første oscillatoren vekslende "dytter" eller "trekker" den andre oscillatoren ved hjelp av de andre fjærelementene. Å fastspenne den andre oscillatoren ved en ende på den første oscillatoren har fordelen at, når en elektrostatisk kraft blir utøvd på den andre oscillatoren som et resultat av justerings-/posisjonsendring av den andre oscillatoren som resulterer fra denne, de andre fjærelementene kan være nokså bøyd, og gjør det derfor mulig uten problemer å variere den tilhørende justeringsvinkelen på de andre fjærelementene. Dersom den andre oscillatoren i dette eksempelet skulle bli festet til ytterligere andre fjærelementer på en slik måte at, under bevegelse av den første oscillatoren, den andre oscillatoren på samme tid skulle bli "trukket" og "dyttet" av det andre

fjærelementet, så ville dette tilsvare at den andre oscillatoren blir fastspent eller festet "ved to ender" til den første oscillatoren (hvor kraften blir innført til den andre oscillatoren fra to motsatte ender på den første oscillatoren). I dette tilfellet vil ytterligere andre fjærelementer produsere tilhørende motsatte krefter når et

5 elektrostatisk felt blir påført, slik at endringen i justeringsvinklene for de andre fjærelementene kan oppnås kun ved vanskelighet. Imidlertid er fastspenning ved to ender aksepterbart når de ytterligere andre fjærelementene er konstruert slik at påvirkningen av disse fjærelementene er liten slik at alle fjærelementene kan bøyes uten problemer også, dvs. at fastspenningen er effektiv ved én ende. Avhengig av

10 konstruksjonen på oscillatorstrukturen kan fastspenning ved én ende effektivt tilveiebringes kun ved "påvirkning" (kraftinnføring) av ytterligere fjærelementer som er 40% eller mindre. Imidlertid representerer ikke denne verdien noen begrensning av oppfinnelsen, og det er også mulig for påvirkningen av de andre fjærelementene å være mer enn 40%. Som et eksempel kan fastspenning ved én ende oppnås ved

15 at alle andre fjærelementer, som tilkobler den andre oscillatoren til den første oscillatoren, er anordnet parallelt og på den samme planet som hverandre. Alle start- og sluttpunkter for de andre fjærelementene er i hvert tilfelle festet til de samme endene på den første og andre oscillatoren. Start- og sluttpunktene på de andre fjærelementene kan i dette tilfellet fordelaktig være på en felles akse, hvor aksene

20 for de andre fjærelementene krysser rettvinklet.

Dersom den andre oscillatoren er festet til eller fastspent på den første oscillatoren ved én ende, så er de første fjærelementene fortrinnsvis konstruert slik at de fastspenner den første oscillatoren på gyrorammen ved to ender (uttrykkene "ved én

25 ende" og "ved to ender" kan anvendes analogt her). Som et alternativ til dette er det imidlertid mulig for de første fjærelementene å også være konstruert på en slik måte at de spennes fast på den første oscillatoren ved én ende. Som et eksempel kan alle de første fjærelementene som tilkobler den første oscillatoren til gyrorammen på coriolisgyroskopet anordnes parallelt og på de samme plan med hverandre, hvor

30 start- og sluttpunktene for de første fjærelementene i hvert tilfelle er fortrinnsvis lokalisert på en felles akse. Det er tilsvarende mulig for å fjærelementene å konstrueres på en slik måte at den første oscillatoren er fastspent på gyrorammen ved én ende, og den andre oscillatoren er fastspend ved to ender av den første oscillatoren. Det er også mulig at begge oscillatorene er fastspent i to ender. For

35 kvadraturbiaskompensering har det blitt oppdaget at det er fordelaktig at minst én av de to oscillatorene er fastspent ved én ende.

En ytterligere fordelaktig utførelse av et coriolisgyroskop ifølge oppfinnelsen har en første og en andre resonator, som hver er i form av et koblet system som omfatter en første og en andre lineær oscillator, hvor den første resonatoren er mekanisk/elektrostatisk tilkoblet til den andre resonatoren, slik at de to resonatorene kan fås til å oscillere i antifase med hensyn til hverandre langs en felles oscillasjonsakse.

Følgelig har denne utførelsen et massesystem som omfatter to dobbel-oscillatorsystemer (dvs. to resonatorer) eller fire lineære oscillatorer. Antifase-oscilleringen for de to resonatorene med hensyn til hverandre i dette tilfellet resulterer i at massesystemets gravitasjonssenter forblir uendret, forutsatt at de to resonatorene er passende konstruert. Dette betyr at massesystemets oscillerende ikke kan produsere en ekstern vibrering som i tur og orden vil resultere i forstyrrelse i form av dempning/refleksjoner. Videre har eksterne vibrasjoner og akselerasjoner i retningen av den felles oscillasjonsaksen ingen påvirkning på antifasebevegelsen for de to resonatorene langs den felles oscillasjonsaksen.

Som et eksempel kan den første resonatoren kobles til den andre resonatoren via et fjærsystem som tilkobler den første resonatoren til den andre resonatoren. Et ytterligere valg er at den første resonatoren kobles til den andre resonatoren via et elektrostatisk felt. Begge koblinger kan anvendes på egenhånd eller sammen. Det er tilstrekkelig for de to resonatorene å være dannet av et felles substrat, slik at den mekaniske koblingen blir tilveiebrakt av en mekanisk fjærforbindelse som blir dannet av selve felles substrat.

Også i denne utførelsen har coriolisgyroskopet fordelaktig en anordning for produksjon av elektrostatisk felt, som ved hjelp av justeringen av de lineære oscillatorene med hensyn til hverandre kan varieres, en anordning for bestemmelse av kvadraturbiasen for coriolisgyroskopet, og reguleringssløyfer som reguleres ved hjelp av styrker for de elektrostatisk felt slik at de bestemte kvadraturbiasen er så liten som mulig.

Konfigurasjonene for den første og andre resonatoren er fortrinnsvis identisk. I dette tilfellet er de to resonatorene fordelaktig anordnet aksialt symmetrisk med hensyn til hverandre med hensyn til en symmetriakse som er rettvinklet til den felles oscillasjonsaksen, dvs. at den første resonatoren er tilordnet symmetriaksen på den andre resonatoren.

Oppfinnelsen skal beskrives mer detaljert i den etterfølgende beskrivelsen ved å anvende eksempelvis utførelser, og med henvisning til de etterfølgende figurer, hvori:

5

Figur 1 viser et utsnitt av et massesystem ifølge oppfinnelsen som omfatter to lineære oscillatorer, med tilhørende reguleringssløyfer som blir anvendt for eksitering av den første oscillatoren.

10

Figur 2 viser et utsnitt av et massesystem ifølge oppfinnelsen som omfatter to lineære oscillatorer, med tilhørende målingssløyfer og reguleringssløyfer for en rotasjonshastighet Ω og en kvadraturbias B_Q , så vel som tilleggsreguleringssløyfer for å kunne kompensere for kvadraturbiasen B_Q .

15

Figur 3 viser et utsnitt av et massesystem ifølge oppfinnelsen, som omfatter fire lineære oscillatorer, med tilhørende målings- og reguleringssløyfer for en rotasjonshastighet Ω og en kvadraturbias B_Q , så vel som tilleggsreguleringssløyfer for å kunne kompensere for kvadraturbiasen B_Q .

20

Figur 4 viser et utsnitt av en foretrukket utførelse av reguleringsmodulen som vises i figur 3.

Figur 1 viser et skjematisk design av en lineær dobbeloscillator 1 med tilhørende elektroder, så vel som et blokkdiagram over tilhørende evaluerings-

25

/eksiteringselektronikk 2. Den lineære doble oscillatoren 1 er fortrinnsvis produsert ved hjelp av etseprosesser fra en silikonskive, og har en første lineær oscillator 3, en andre lineær oscillator 4, første fjærelementer 5_1 til 5_4 , andre fjærelementer 6_1 og 6_2 så vel som deler fra den mellomliggende rammen 7_1 og 7_2 og en gyroramme 7_3 og 7_4 . Den andre oscillatoren 4 er montert innenfor den første oscillatoren 3 slik at den kan oscillere, og er tilkoblet den via de andre fjærelementene 6_1 , 6_2 . Den første oscillatoren 3 er tilkoblet gyrorammen 7_3 , 7_4 ved hjelp av de første fjærelementene 5_1 til 5_4 og den mellomliggende rammen 7_1 , 7_2 .

30

Videre tilveiebringes første eksiteringselektroder 8_1 til 8_4 , første målingselektroder 9_1 til 9_4 , andre eksiteringselektroder 10_1 til 10_4 , og andre målingselektroder 11_1 og 11_2 . Alle elektrodene er mekanisk tilkoblet gyrorammen, men er elektrisk isolert. Uttrykket

35

"gyroramme" betyr en mekanisk, ikke-oscillerende struktur hvor oscillatorene er "innebygd", for eksempel den ikke-oscillerende del av silikonskiven.

Dersom den første oscillatoren 3 blir eksitert ved hjelp av de første
 5 eksiteringselektrodene 8_1 til 8_4 til å oscillere i X1-retningen, så blir denne bevegelsen overført gjennom de andre fjærelementene 6_1 , 6_2 til den andre oscillatoren 4 (vekselvis "trekking" og "dytting"). Den vertikale justeringen på de første fjærelementene 5_1 til 5_4 hindrer den første oscillatoren 3 i å bevege seg i X2-retningen. Imidlertid kan en vertikal oscillering utføres av den andre oscillatoren 4
 10 som et resultat av den horisontale justeringen på de andre fjærelementene 6_1 , 6_2 . Når tilhørende corioliskrefter følgelig forekommer, så blir den andre oscillatoren 4 eksitert til å oscillere i X2-retningen.

Et målt signal som blir målt fra de første avleste elektrodene 9_1 til 9_4 og er
 15 proporsjonal med X1-bevegelsen for den første oscillatoren 3, blir tilført via egnete forsterkerelementer 21, 22 og 23 til en analog/digital omformer 24. Et passende digitalisert utgangssignal fra den analoge/digitale omformeren 24 blir demodulert ikke bare av en første demodulator 25, men også av en andre demodulator 26 for å danne tilhørende utgangssignaler, hvor de to demodulatorene opererer med en
 20 offset på 90° med hensyn til hverandre. Utgangssignalet fra den første demodulatoren 25 blir tilført en første regulator 27 for å regulere frekvensen på eksiteringsoscillasjonen (massesystemets 1 oscillering i X1-retningen), hvilket utgangssignal styrer en frekvensgenerator 30 slik at signalet som forekommer nedstrøms fra demodulatoren 25 blir regulert ved null. Analogt til dette blir
 25 utgangssignalet fra den andre demodulatoren 26 regulert med en konstant verdi som er forhåndsbestemt av en elektronikkomponent 29. En andre regulator 31 sikrer at amplituden på eksiteringsoscillasjonen blir regulert. Utgangssignalene fra frekvensgeneratoren 30 og fra amplituderegulatoren 31 blir multiplisert med hverandre ved hjelp av en multiplikator 32. Et utgangssignal fra multiplikatorene 21,
 30 som er proporsjonal med kraften som påføres de første eksiteringselektrodene 8_1 til 8_4 , virker ikke bare på en første kraft-/spenningsomformer 33 men også på en andre kraft-/spenningsomformer 34, som anvender det digitale kraftsignalet for å produsere digitale spenningssignaler. De digitale utgangssignalene fra kraft-/spenningsomformerne 33, 34 blir konvertert via en første og en andre digital/analog
 35 omformer 35, 36 til tilhørende analoge spenningssignaler, som deretter blir sendt til de første eksiteringselektrodene 8_1 til 8_4 . Den første regulatoren 27 og den andre regulatoren 31 justerer på nytt den naturlige frekvensen for den første oscillatoren 3,

og setter amplituden på eksiteringsoscillasjonen til en spesifikk, forhåndsbestemmelig verdi.

Når corioliskrefter forekommer blir bevegelsen av den andre oscillatoren 4 i X2-
 5 retningen (målt oscillerings), som resulterer fra denne, detektert av de andre
 måleelektrode 11₁, 11₂, og et målt signal som er proporsjonalt med bevegelsen på
 den målte oscilleringen i X2-retningen blir tilført via passende forsterkerelementer
 40, 41 og 42 til en analog/digital omformer 43 (se figur 2). Et digitalt utgangssignal
 fra den analoge/digitale omformeren 43 blir demodulert av en tredje demodulator 44 i
 10 fase med det direkte-bias signalet, og blir demodulert av en fjerde demodulator 45,
 offset gjennom 90°. Et tilhørende utgangssignal fra den første demodulatoren 44 blir
 påført en tredje regulator 46, hvilket utgangssignal er et kompenseringssignal og
 tilsvarer rotasjonshastigheten Ω som skal måles. Et utgangssignal fra den fjerde
 demodulatoren 45 blir påført en fjerde regulator 47, hvilket utgangssignal er et
 15 kompenseringssignal og er proporsjonal med kvadraturbiasen som skal
 kompenseres for. Utgangssignalet fra den tredje regulatoren blir modulert ved hjelp
 av en første modulator 48, og utgangssignalet fra den fjerde regulatoren 47 blir
 modulert på en analog måte til denne ved hjelp av en andre modulator 49, slik at
 amplituderegulerte signaler blir produsert, hvilke frekvenser tilsvarer den naturlige
 20 frekvensen på oscilleringen i X1-retningen ($\sin \Lambda = 0^\circ$, $\cos \Lambda = 90^\circ$). Tilsvarende
 utgangssignaler fra modulatorene 48, 49 blir lagt til i addisjonstrinnet 50, hvilket
 utgangssignal blir supplert både til en tredje kraft-/spenningsomformer 51 og til en
 fjerde kraft-/spenningsomformer 52. De tilsvarende utgangssignalene for kraft-
 /spenningsomformerne 51, 52 blir tilført digitale/analoge omformere 53, 54, hvilke
 25 analoge utgangssignaler blir påført de andre eksiteringselektrode 10₂ til 10₃, og
 tilbakestilt til oscillasjonsamplitudene for den andre oscillatoren 4.

Det elektrostatiske feltet som blir produsert av de andre eksiteringselektrode 10₁
 og 10₄ (eller de to elektrostatiske feltene som blir produsert av elektrodeparene 10₁,
 30 10₃ og 10₂, 10₄), resulterer i en justerings-/posisjonsendring på den andre
 oscillatoren 4 i X2-retningen, og derfor en endring i justeringene på de andre
 fjærelementene 6₁ til 6₂. Den fjerde regulatoren 47 regulerer signalet som påføres de
 andre eksiteringselektrode 10₁ og 10₄, på en slik måte at kvadraturbiasen som er
 inkludert i kompenseringssignalet for den fjerde regulatoren er så liten som mulig,
 35 eller forsvinner. En femte regulator 55, en femte og en sjette/spenningsomformer 56,
 57 og to analog/digitale omformere 58, 59 blir anvendt for dette formålet.

Utgangssignalet fra den fjerde regulatoren 47, som er et mål for kvadraturbiasen, blir tilført den femte regulatoren 55, som regulerer det elektrostatiske feltet som blir produsert av de to eksiteringselektrodene 10₁ og 10₄ på en slik måte at kvadraturbiasen B_Q forsvinner. For dette formålet blir et utgangssignal fra den femte regulatoren 55 i hvert tilfelle tilført de femte og sjette kraft-/spenningsomformerne 56, 57, som anvender det digitale kraftutgangssignalet fra den femte regulatoren til å produsere digitale spenningssignaler. Disse blir deretter konvertert til analoge spenningssignaler i de analoge/digitale omformerne 58, 59. Det analoge utgangssignalet fra den analoge/digitale omformeren 58 blir tilført den andre eksiteringselektroden 10₁ eller alternativt 11₁. Det analoge utgangssignalet fra den analoge/digitale omformeren 59 blir tilført den andre eksiteringselektroden 10₄, eller alternativt 11₂.

Den andre oscillatoren 4 er fastspent kun ved de andre springelementene 6₁ til 6₂ (fastspenning ved én ende), og justeringen av disse fjærelementene kan varieres uten problemer av det elektrostatiske feltet. Det er også mulig å tilveiebringe ytterligere andre fjærelementer, som resulterer i at den andre oscillatoren 4 er fastspent ved to ender, forutsatt at disse ytterligere fjærelementene er konstruert passende for å sikre at fastpenning ved én ende blir effektivt oppnådd. For å tillate den samme effekten for fjærelementene 5₁, 5₂ og fjærelementene 5₃, 5₄ også, kan de tredje og fjerde fjærelementene 5₃, 5₄ utelates, og resulterer derfor i at den første oscillatoren 3 blir fastspent ved én ende (sammen med en egnet modifisert elektrodekonfigurasjon, som ikke er vist her). I en situasjon slik som denne kan den andre oscillatoren 4 også festet til den første oscillatoren ved hjelp av ytterligere fjærelementer for å oppnå fastspenning ved to ender.

Elektrodeinnretningene som vises i figur 1 og 2 kan varieres. For eksempel kan elektrodene som er identifisert ved henvisningstallene 8₁, 9₁, 9₂, 8₂ så vel som 8₃, 9₃, 9₄, 8₄ i figur 1 og 2, alternativt i hvert tilfelle kombineres for å danne én elektrode. En elektrode som har blitt kombinert på denne måten kan være allokert et antall oppgaver ved anvendelsen av passende fremgangsmåte for bærerfrekvens, dvs. at elektroden har en målings-, eksiterings- og kompenseringsfunksjon på samme tid. Elektrodene som blir identifisert ved henvisningstallene 11₁, 10₁, 10₃ så vel som 11₂, 10₂ og 10₄ kan også alternativt kombineres for å danne i hvert tilfelle én elektrode.

En ytterligere mulig utførelse av coriolisgyroskopet ifølge oppfinnelsen og dens fremgangsmåte for drift vil bli beskrevet mer detaljert i den etterfølgende beskrivelsen med henvisning til figur 3.

- 5 Figur 3 viser den skjematiske skissen av koblet system 1', omfattende en første resonator 70₁ og en andre resonator 70₂. Den første resonatoren 70₁ er koblet til den andre resonatoren 70₂ via et mekanisk koblingselement 71, en fjær. Den første og den andre resonatoren 70₁, 70₂ blir dannet i et felles substrat og kan fås til å oscillere i antifase med hensyn til hverandre langs en felles oscillasjonsakse 72. Den første
10 og den andre resonatoren 70₁, 70₂ er identisk, og er tilordnet på hverandre via en symmetriakse 73. Konstruksjonen av den første og av den andre resonatoren 70₁, 70₂ har allerede blitt forklart i forbindelse med figur 1 og 2, og vil derfor ikke bli beskrevet igjen: identiske og innbyrdes tilsvarende komponenter eller
15 komponentgrupper er identifisert ved de samme henvisningstallene med identiske komponenter som er tilknyttet ulike resonatorer som er identifisert ved ulike indekser.

- En hovedforskjell mellom de doble oscillatorene vist i figur 3 og de doble oscillatorene vist i figur 1 og 2 er at noen av de individuelle elektrodene er fysisk kombinert for å danne én total elektrode. For eksempel former derfor individuelle
20 elektroder som er identifisert ved henvisningstallene 8₁, 8₂, 9₁ og 9₂ i figur 3 en felles elektrode. Dessuten danner de individuelle elektrodene, som er identifisert ved henvisningstallene 8₃, 8₄, 9₃ og 9₄ en felles elektrode, og de med henvisningstallene 10₄, 10₂, 11₂ så vel som henvisningstallene 11₁, 10₃ og 10₁ danner hver en total elektrode. Det samme gjelder på en analog måte det andre dobbel-
25 oscillatorsystemet.

- Under drift av det koblede systemet 1' ifølge oppfinnelsen så oscillerer de to oscillatorene 70₁, 70₂ i antifase langs den felles oscillasjonsaksen 72. Det koblede systemet 1' er derfor ikke utsatt for eksterne forstyrrelser eller forstyrrelser som blir
30 sendt ut av selve det koblede systemet 1' inn i substratet hvor resonatorene 70₁ og 70₂ er montert.

- Når det koblede systemet 1' blir rotert så blir de andre oscillatorene 4₁, 4₂ avbøyd i innbyrdes motsatte retninger (i X₂-retningen og i den motsatte retningen til X₂-retningen). Når en akselerasjon av det koblede systemet 1' forekommer, så blir da de
35 andre oscillatorene 4₁, 4₂, hver avbøyd i den samme retningen, nærmere bestemt i den samme retningen som akselerasjonen, forutsatt at denne akselerasjonen er i

X2-retningen, eller i den motsatte retningen til den. Samtidige eller vekslende akselerasjoner og rotasjoner kan derfor måles.

Prinsipielt er det mulig å drive det koblete systemet 1' på grunnlag av evaluerings-/eksiteringselektronikk 2 som beskrevet i figur 1 og 2. Imidlertid blir en alternativ fremgangsmåten (fremgangsmåte for bærefrekvens) anvendt i stedet for denne i utførelsen vist i figur 3. Denne driftsfremgangsmåten vil bli beskrevet i den etterfølgende teksten.

- 10 Evaluerings-/eksiteringselektronikk 2, som blir identifisert ved henvisningstallene 2' har tre reguleringssløyfer: en første reguleringssløyfe for eksitering og/eller styring av en antifase-oscillering av de første oscillatorene 3_1 og 3_2 langs den felles oscillasjonsaksen 72, en andre reguleringssløyfe for å tilbake stille og kompensere oscillasjonene for den andre oscillatoren 4_1 langs X2-retningen, og en
- 15 reguleringssløyfe for å tilbake stille og kompensere oscilleringene for den andre oscillatoren 4_2 langs X2-retningen. De tre beskrevne reguleringssløyfene har en forsterker 60, en analog/digital omformer 61, en signalseparasjonsmodul 62, en første til tredje demoduleringsmodul 63_1 til 63_3 , en styringsmodul 64, en elektrodespenningsberegningsmodul 65, en bærefrekvensadderingsmodul 67, og en
- 20 første til sjette digital/analog omformer 66_1 til 66_6 .

- Bærefrekvenser kan påføres elektrodene 8_1 til 8_8 , 9_1 til 9_8 , 10_1 til 10_8 og 11_1 til 11_4 for avlytting/eksitering (avlyttingseksitering) av antifaseoscilleringen eller oscilleringene for de andre oscillatorene 4_1 , 4_2 på et antall måter: a) å anvende tre ulike frekvenser,
- 25 hvor én frekvens er tilknyttet hver reguleringssløyfe, b) å anvende firkantbølgesignaler med en fremgangsmåte for tidsmultipleksing, eller c) å anvende tilfeldig fasekryptering (stokastisk moduleringsmetode). Bærefrekvensene blir påført elektrodene 8_1 til 8_8 , 9_1 til 9_8 , 10_1 til 10_8 og 11_1 til 11_4 via tilknyttede signaler U_{yAo} , U_{yAu} (for den andre oscillatoren 4_1) og U_{x1} , U_{xr} (for antifaseresonansen for de
- 30 første oscillatorene 3_1 til 3_2) så vel som U_{yBu} og U_{yBo} (for den andre oscillatorene 4_2), som blir produsert i bærefrekvensadderingsmodulen 67 og blir eksitert i antifase med hensyn til de ovennevnte frekvenssignalene. Oscilleringene for de første og andre oscillatorene 3_1 , 3_2 , 4_1 og 4_2 blir avlyttet via de deler av gyrorammen som blir identifisert ved henvisningstallene 7_7 , 7_9 , 7_{11} og 7_{12} , og i dette tilfellet blir i tillegg
- 35 anvendt som avlyttingselektroder, i tillegg til deres funksjon som suspensjonspunkter for massesystemet. For dette formålet er de to resonatorene 70_1 , 70_2 fortrinnsvis og fordelaktig konstruert til å være elektrisk ledende med alle rammene, fjærer og

tilkoblinger. Signalet som blir avlyttet ved hjelp av gyrorammedelene 7₇, 7₉, 7₁₁ og 7₁₃ blir tilført forsterkeren 60, omfattende informasjon om alle tre oscillasjonsmodusene, og blir konvertert av den analoge/digitale omformeren 61 til et digitalt signal som blir tilført signalseparasjonsmodulen 62. Det sammensatte

5 signalet blir separert i signalseparasjonsmodulen 62 i tre ulike signaler: x (som omfatter informasjon om antifaseoscillasjonen), yA (som omfatter informasjon om avbøyningen for den andre oscillatoren 4₁), så vel som yB (som omfatter informasjon om avbøyningen for den andre oscillatoren 4₂). Signalene blir separert ulikt avhengig av typen bæreølgefrengangsmåte som anvendes (se a) til c) ovenfor), og blir utført

10 ved demodulering med det tilsvarende signalet for bærefrekvensfrengangsmåten som anvendes. Signalene x, yA og yB blir tilført demoduleringsmodulene 63₁ til 63₃, som demodulerer dem ved å anvende en driftsfrekvens for antifaseoscillasjonen for 0° og 90°. Styringsmodulen 64 så vel som elektronikkspenningsberegningssmodulen 65 for regulering/beregning av signalene Fx1/r eller Ux1/r er henholdsvis fortrinnsvis

15 konfigurert analogt med elektronikkmodulen 2 vist i figur 1. Styringsmodulen 64 og elektronikkspenningsberegningssmodulen 65 for regulering/beregning av signalene FyAo/u, UyAo/u og FyBo/u, UyBo/u er fortrinnsvis konstruert analogt med elektronikkmodulen 2 vist i figur 2; den eneste forskjellen er at signalene for tilbakestillingen av rotasjonshastigheten og kvadraturen etter multiplikasjon av

20 driftsfrekvensen blir sendt sammen med DC-spenninger for kvadraturtilleggsregulator til et kombinert elektrodepar. De to signalene blir derfor addert, slik at beregningen av elektrodespenningene omfatter tilbakestillingssignaler for oscillasjonsfrekvensen og DC-signalet for kvadraturreguleringen så vel som frekvensavstemming. Elektrodespenningene Ux1/r, UyAo/u og UyBo/u som

25 beregnes på denne måte blir deretter lagt til bærefrekvenssignalene og blir videresendt sammen via de analoge/digitale omformerne 66₁ til 66₆ til elektrodene.

Figur 4 viser én foretrukket utførelse av reguleringssystemet som blir identifisert ved henvisningstall 64 i figur 3. Reguleringssystemet 64 har en første til tredje del 64₁ til

30 64₃. Den første delen 64₁ har en første regulator 80, en frekvensgenerator 81, en andre regulator 82, en elektronikkomponent 83, et adderingstrinn 84 og en multiplikator 85. Fremgangsmåten for drift av den første delen tilsvarer hovedsakelig til fremgangsmåten for drift av elektronikkmodulen 2 vist i figur 1, og vil derfor ikke beskrives igjen heri. Den andre delen 64₂ har en første regulator 90, en første

35 modulator 91, en andre regulator 92, en andre modulator 93 og en tredje regulator 94. Et første og et andre adderingstrinn 95, 96 blir også tilveiebrakt. Et rotasjonshastighetssignal Ω kan bestemmes ved utgangen av den første regulatoren

90, og et sammensatt signal omfattende kompensasjonen av kvadraturbias B_{Q1} og en akselerasjon A kan bestemmes ved utgangen på den tredje regulatoren 94. Den tredje delen 64₃ av reguleringsystemet 64 har en første regulator 100, en første modulator 103 og en tredje regulator 104. Et første og et andre adderingstrinn 105, 106 blir også tilveiebrakt. Et rotasjonshastighetssignal Ω med et negativt matematisk fortegn kan avlyttes ved utgangen på den første regulatoren 100, og et sammensatt signal omfattende kompensasjonen av kvadraturbias B_{Q2} med et negativt matematisk fortegn og et akselerasjonssignal A kan avlyttes ved utgangen på den tredje regulatoren 104. Fremgangsmåten for drift av den andre og den tredje delen 64₂ og 64₃ tilsvarer den av elektronikkmodulen 2 som illustreres i figur 2, og vil derfor ikke beskrives igjen heri.

Bærefrekvensfremgangsmåten beskrevet ovenfor med antifaseeksitering har den fordel at en signal blir tilført forsterkeren 60 kun når de lineære oscillatorene 3₁, 3₂ så vel som 4₁ og 4₂ blir avbøyd. Frekvenssignalene som anvendes for eksitering kan være diskrete frekvenser eller firkantbølgesignaler. Firkantbølgeeksitering er foretrukket, fordi det er enkelt å produsere og behandle.

Lineære doble oscillatorer blir atskilt ved spesiell høy kvalitet på grunn av den lineære bevegelsen på silikonskiven. Kompenseringen for kvadraturbiasen i tilfelle av lineære resonatorer hvor minst én oscillator blir fastspent ved én ende kan oppnås ifølge oppfinnelsen globalt ved justering av ortogonaliteten på fjærene. Dette blir frembrakt ved å variere vinkelen på fjærene for oscillatoren, som blir fastspent ved én ende ved hjelp av en DC-spenning, slik at den målte kvadraturbiasen B_Q blir null. Som beskrevet ovenfor blir en tilsvarende reguleringsløyfe anvendt for dette formålet, som regulerer den ovennevnte DC-spenningen slik at $B_Q=0$. Denne reguleringsløyfen kompenserer for kvadraturbiasen ved startpunktet, og forbedrer nøyaktigheten på lineære oscillasjonsgyroer ved et tall av flere størrelsesordener.

De lineære oscillatorene for en resonator blir fortrinnsvis hver drevet ved dobbel resonans.

Patentkrav

1. Fremgangsmåte for kvadraturbiaskompensering i et coriolisgyroskop, k a r a k t e r i s e r t v e d at en resonator (1) er i formen av et koblet system som
5 omfatter en første og en andre lineær oscillator (3, 4), hvor den første oscillatoren (3) er festet til en gyroramme på coriolisgyroskopet ved hjelp av første fjærelementer (5₁ til 5₄) og den andre oscillatoren (4) er festet til den første oscillatoren (3) ved hjelp av andre fjærelementer (6₁, 6₂), og har de følgende trinn:
 - å bestemme kvadraturbiasen for coriolisgyroskopet,
 - 10 - å produsere et elektrostatiske felt for å variere den innbyrdes justeringen av de to oscillatorene (3, 4) med hensyn til hverandre, hvor det elektrostatiske feltet produserer en konstant kraft som forårsaker en endring i justeringen på de første fjærelementene (5₁ til 5₄), og/eller en endring i justeringen på de andre fjærelementene (6₁, 6₂), og hvor justeringen/styrken på det elektrostatiske
15 feltet blir regulert slik at den bestemte kvadraturbiasen er så liten som mulig.

2. Fremgangsmåte i samsvar med krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at justeringen på de første fjærelementene (5₁ til 5₄) blir variert ved å variere posisjonen/justeringen på den første oscillatoren (3) ved hjelp av det elektrostatiske
20 feltet, og i at justeringen på de andre fjærelementene (6₁, 6₂) blir variert ved å variere posisjonen/justeringen på den andre oscillatoren (4) ved hjelp av det elektrostatiske feltet.

3. Fremgangsmåte i samsvar med krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d
25 at det elektriske feltet resulterer i justeringen av de første og andre fjærelementer (6₁, 6₂, 5₁ til 5₄) som blir gjort ortogonal med hensyn til hverandre.

4. Coriolisgyroskop, hvilken resonator er i formen av et koblet system omfattende en første og en andre lineær oscillator (3, 4), k a r a k t e r i s e r t
30 v e d at den første oscillatoren (3) er festet til en gyroramme på coriolisgyroskopet ved hjelp av første fjærelementer (5₁ til 5₄), og den andre oscillatoren (4) er festet til den første oscillatoren (3) ved hjelp av andre fjærelementer (6₁, 6₂), omfattende
 - en anordning for produksjon av et elektrostatiske felt (11₁', 11₂', 10₁ til 10₄), som ved hjelp av justeringen av de to oscillatorene (3, 4) med hensyn til
35 hverandre kan varieres, hvor det elektrostatiske feltet produserer en konstant kraft som varierer justeringsvinkelen på de første fjærelementene (5₁ til 5₄)

med hensyn til gyrorammen (7₃, 7₄) og/eller justeringsvinkelen på de andre fjærelementene (6₁, 6₂) med hensyn til den første oscillatoren (3),

- en anordning (45, 47) for å bestemme en kvadraturbias for coriolisgyroskopet, og

- 5 - en reguleringsløyfe (55, 56, 57), som ved hjelp av styrken på det elektrostatiske feltet blir regulert som en funksjon av den bestemte kvadraturbiasen, slik at den bestemt kvadraturbiasen er så liten som mulig.

- 10 5. Coriolisgyroskop i samsvar med krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at alle de andre fjærelementene (6₁ til 6₂) som tilkobler den andre oscillatoren (4) til den første oscillatoren (3), er konstruert slik at kraft blir innført fra den første oscillatoren (3) til den andre oscillatoren (4) hovedsakelig fra én siden av den første oscillatoren (3).

- 15 6. Coriolisgyroskop i samsvar med krav 4 eller 5, k a r a k t e r i s e r t v e d at alle de første fjærelementene (5₁ til 5₄) som tilkobler den første oscillatoren (3) til gyrorammen (7₃, 7₄) på coriolisgyroskopet er anordnet parallelt og på det samme planet med hverandre, hvor start- og sluttpunktene for de første fjærelementene (5₁ til 5₄) hver er lokalisert på en felles akse.

- 20 7. Coriolisgyroskop (1') i samsvar med et av kravene 4 til 6, k a r a k t e r i s e r t v e d en andre resonator (70₁, 70₂), som er i form av et koblet system omfattende en første og en andre lineær oscillator (3₁, 3₂, 4₁, 4₂), hvor den første resonatoren (70₁) er mekanisk/elektrostatisk forbundet/tilkoblet til den andre resonatoren (70₂) slik at de to resonatorene kan fås til å oscillere i antifase med hensyn til hverandre langs en felles oscillasjonsakse (72).

- 30 8. Coriolisgyroskop (1') i samsvar med krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at konfigurasjonene på den første og den andre resonatoren (70₁, 70₂) er identisk, hvor resonatorene (70₁, 70₂) er anordnet aksialt symmetrisk med hensyn til hverandre, med hensyn til en symmetriakse (73) som er vinkelrett på den felles oscillasjonsaksen (72).

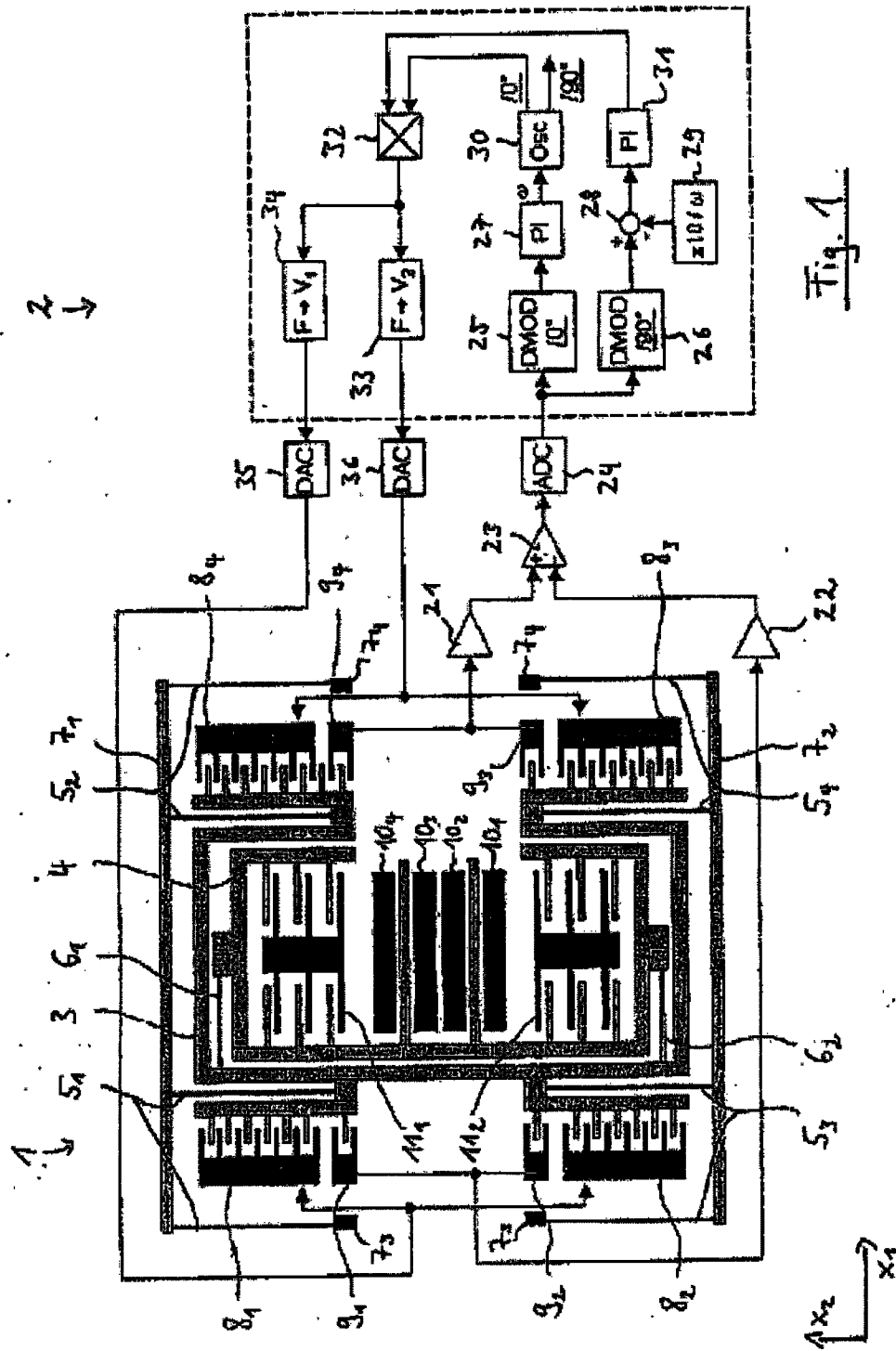
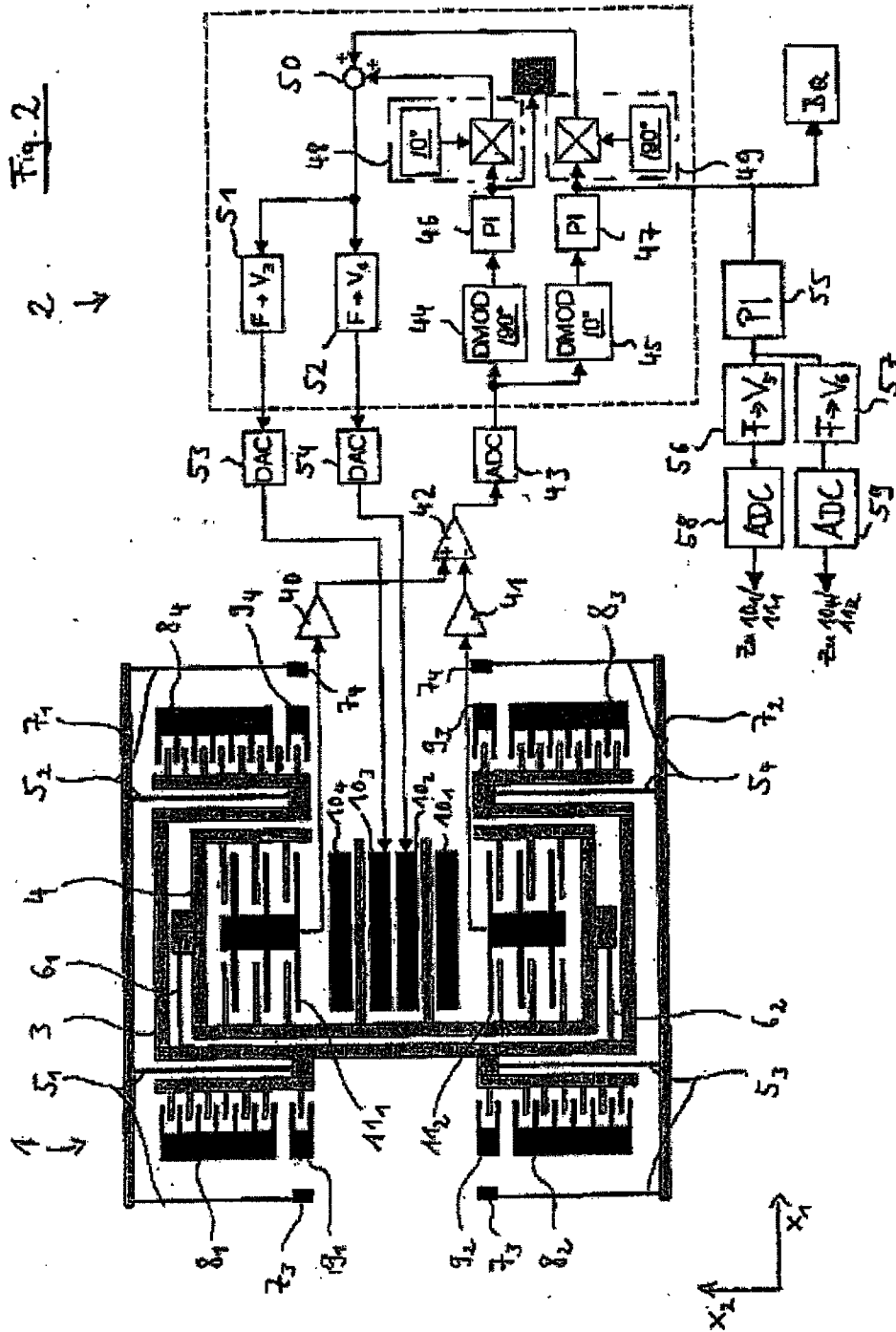


Fig. 1



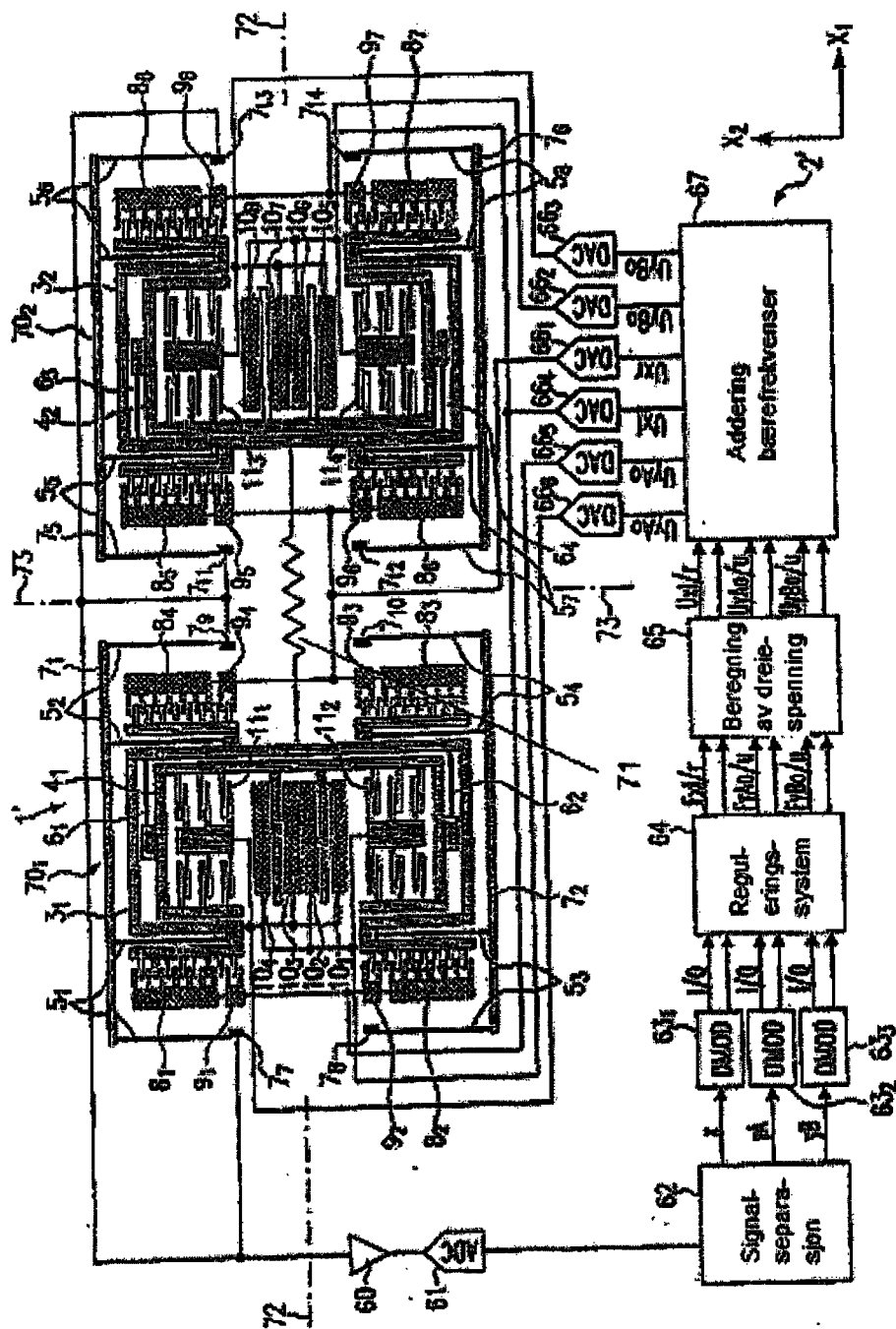


Fig.3

