



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **314368**

(13) B1

(51) Int Cl⁷

G 01 C 21/00

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19995736	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	1999.03.25, PCT/EP99/02034
(22) Inng. dag	1999.11.22	(85) Videreføringsdag	1999.11.22
(24) Løpedag	1999.03.25	(30) Prioritet	1998.04.01, IT, RM98A000208
(41) Alm. tilgj.	2000.01.26		
(45) Meddelt dato	2003.03.10		

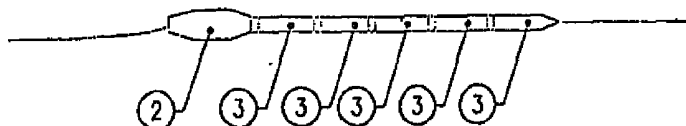
(71) Patenthaver	Alenia Marconi Systems SpA, Via Tiburtina, 1231, I-00131 Roma, IT
(72) Oppfinner	Carlo Ceccherini, I-16100 Genova, IT
	Stefano Scarpa, I16100 Genova, IT
(74) Fullmektig	Håmsø Patentbyrå ANS, 4302 Sandnes

(54) Benevnelse **Treghets- og magnetiske følersystemer konstruert for å måle retningsvinkelen i forhold til den jordiske nordpol**

(56) Anførte publikasjoner Ingen

(57) Sammendrag

Oppfinnelsen som er beskrevet her, dreier seg om et kurssystem av oppdelt konstruksjon bestående av minst to sensorenheter som kan bestemme retningen til jordens magnetiske nordpol; minst en sensorenhet som kan samtidig bestemme posisjonen med hensyn til både retningen til den terrestriske magnetiske nordpol og retningen til den geografiske nordpol; og som kan kompensere for hvilken som helst feil som måtte komme fra uforutsigbare variasjoner i jordens lokale magnetfelt, og som har innflytelse på alle sensorenheter i nevnte system. Den foreliggende oppfinnelse kan klassifiseres i det tekniske område - måleinstrumenter, spesielt de som måler kursvinkler. Anvendelsesområdet for denne oppfinnelse er i hovedsak måling av kursvinkler for havoverflate- eller undervannssystemer av oppdelt konstruksjon, slik som havbøyer, undervannsfartøyer og slepte sensorrekker. Denne oppfinnelse kan imidlertid også anvendes på grupper av kjøretøyer på land, der deres posisjon med hensyn på et fast referansesystem må bestemmes som en funksjon av tiden.



INERTE- OG MAGNETISKE SENSORSYSTEMER KONSTRUERT FOR Å MÅLE KURSVINKELN I FORHOLD TIL DEN TERRESTRISKE NORDPOL

Oppfinnelsen som er beskrevet her, dreier seg om et kurssystem av oppdelt konstruksjon bestående av minst to sensorenheter som kan bestemme retningen til jordens magnetiske nordpol; minst en sensorenhet som kan samtidig bestemme posisjonen med hensyn til både retningen til den terrestriske magnetiske nordpol og retningen til den geografiske nordpol; og som kan kompensere for hvilken som helst feil som måtte komme fra uforutsigbare variasjoner i jordens lokale magnetfelt, og som har innflytelse på alle sensorenheter i nevnte system.

Den foreliggende oppfinnelse kan klassifiseres i det tekniske område – måleinstrumenter, spesielt de som måler kursvinkler. Anvendelsesområdet for denne oppfinnelse er i hovedsak måling av kursvinkler for havoverflate- eller undervannssystemer av oppdelt konstruksjon, slik som havbøyer, undervannsfartøyer og slepte sensorrekker.

Denne oppfinnelse kan imidlertid også anvendes på grupper av kjøretøyer på land, der deres posisjon med hensyn på et fast referansesystem må bestemmes som en funksjon av tiden.

Når det i dag ikke er mulig å bruke Global Positioning System (GPS), brukes både inerte systemer og magnetiske systemer med preferanse til sistnevnte når det er romlige begrensninger. Blandete systemer (begrenset til enkeltstående sensorenheter) blir noen ganger brukt til å kompensere for eventuell gyroskopisk avdrift (innebygde inertsystemer) ved hjelp av kardansk opphengte magnetkompass eller magnetiske nedholdingssystemer.

Imidlertid er systemene nevnt ovenfor (GPS, inert og magnetisk) ikke funnet passende for anvendelser der romkravene til det globale system er en avgjørende faktor ved utførelsen av de funksjoner som kreves, spesielt for de ovenfor nevnte funksjoner (måling av kursvinkler for hver sensor med referanse til jordens geografiske nordpol). I tillegg er kostnadene ved full-inertsystemer så høye at bruk av disse ikke er økonomisk fordelaktige.

Formålet med den foreliggende oppfinnelse er å avhjelpe begrensninger med nevnte, kjente målesystemer. Oppfinnelsen beskrevet i denne patentsøknaden lider ikke av slike begrensninger, fordi den er basert på konseptet - design og installasjon i det globale system - en sensorenhet som er i stand til å bestemme sin egen kursvinkel med hensyn på to vektorer (jordens vinkelhastighet og jordens magnetfelt), som er uavhengig av hverandre.

Formålet oppnås ved trekk som angitt i følgende beskrivelse og i etterfølgende patentkrav.

Systemet som danner grunnlag for denne oppfinnelsen, inkluderer:

- a) flere magnetiske/inerte sensorenheter som kan måle kursvinkelen θ_m^k (k betyr k-te sensorenhet) for disse sensorenhetene med hensyn til den terrestriske magnetiske nordpol;
- b) en blandet sensorenhet som kan måle både dens vinkel θ_m^* med hensyn til det magnetiske nord og vinkelen θ_g^* med hensyn til det geografiske nord, hvor disse vinklene oppnås fra en magnetisk/inert-følende delmontasje (θ_m^*) og en fullstendig inertfølende delmontasje (θ_g^*), idet den ene er innbefattet i den andre og har samme oppstilling i linje;

- c) en metode for å kompensere for feil som kommer av uforutsigbare variasjoner lokalt i jordens magnetfelt og påvirker kursvinklene som måles av alle magnetiske/inerte sensorenheter.

Sensorenhetene nevnt under a) og b) ovenfor kan monteres enten fast eller med kardansk opphenging og kan bestå av enten magnetometre eller magnetiske kompass. Den blandede sensorenhet (b) gir samtidige estimater av θ_m^* og θ_g^* , slik at det er mulig å beregne differansevinkelen $\theta_d = \theta_m^* - \theta_g^*$. Differansevinkelen θ_d antas å være konstant innenfor området til det oppdelte kurssystem. Derfor gjør θ_d det mulig å korrigere vinkelmålingene utført av alle magnetiske/inerte-sensorenheter slik:

$$\theta_g^k = \theta_m^k - \theta_d; \text{ der:}$$

θ_g^k er kursvinkelen av hver magnetiske/inerte-sensorenhet med hensyn på retningen til den geografiske nordpol.

Fig. 1 – Hydrofonrekke slept av et skip

Fig. 2 – Kurssystem for oppdelt arrangement i hydrofonrekken

Fig. 3 – Blandet kurssensorenhet

Fig. 4 – Magnetisk/inert kurssensor-enhet

Fig. 5 – Fast referansesystem

Fig. 6 – Referansesystem for legeme

Fig. 7 – Blokkdiagram som viser kompensasjonen for kursfeil i de magnetiske/inerte-sensorenheter.

Som et eksempel, og bare i beskrivende (men ikke begrensende) hensikt, vises i Fig. 1 en hydrofonrekke 1, som slepes.

Fig. 2 representerer et kurssystem av oppdelt konstruksjon som er inkludert i ovenfor nevnte slepte sensorrekke 1, omfattende en blandet sensor 2 forut og n magnetiske/inerte sensorenheter 3.

Fig. 3 viser i detalj den blandete sensorenhet 2. Figuren viser tre gyroskopakser 4, tre akselerometerakser 5 og tre magnetometriske akser 6; idet slike triader av akser er faste med hensyn til innkapslingen av selve sensorenheten og er i samme oppstilling i linje.

Fig. 4 viser en av de magnetiske/inerte sensorenheter 3. Hver av disse sensorenhetene 3 omfatter tre magnetometriske akser 7 og tre akselerometerakser 8. Triaden av aksene 7 og 8 er faste med hensyn på innkapslingen til sensoren og er i samme oppstilling i linje.

Fig. 5 viser referansesystem 9 som er fast med hensyn på jorden.

Fig. 6 viser referansesystem 10 for legemer.

Fig. 7 viser blokkdiagram for trinnene i prosedyren som kreves for korleksjon av kursvinkler til de magnetiske/inerte sensorenheter, beskrevet i det følgende.

Jordens magnetiske feltvektor H i det faste referansesystem 9, når det er på linje med den terrestriske meridian, kan skrives på formen:

$$H_n = \begin{bmatrix} h_1 \\ 0 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

og i referansesystem 10 for legeme:

$$H_b = \begin{bmatrix} r \\ s \\ t \end{bmatrix} = \text{Rot}_{nb}(\theta, \lambda, \varphi) H_n \begin{bmatrix} h_1 \\ 0 \\ h_3 \end{bmatrix},$$

der $\text{Rot}_{nb}(\theta, \lambda, \varphi)$ er rotasjonsmatrisen i forhold til henholdsvis nord, stampe- og rulle vinkler $(\theta, \lambda, \varphi)$, der θ = rotasjonsvinkelen rundt r-aksen i Fig. 6, λ = rotasjonsvinkelen rundt q-aksen i Fig. 6 og φ = rotasjonsvinkelen rundt p-aksen i Fig. 6 fra fast referansesystem 9 til referansesystem 10 for legeme.

På samme måte er $G_n = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$ vektoren til tyngdeaksellerasjonen i det faste referansesystem 9

og

$$G_b = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \text{Rot}_{nb}(\theta, \lambda, \varphi) G_n \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

er den samme vektor i referansesystem 10 for legeme.

Ved å bruke sensorene i den blandede sensorenhet 2, beregner vi vektoren for inertkursen, dvs. vinkeltriaden $(\theta_i^*, \lambda_i^*, \varphi_i^*)$, som oppnås ved en nedbindingsalgoritme anvendt på utdata

fra inertsensoren. I tillegg blir jordens magnetiske feltvektor H_b^* målt i referansesystem 10 for legeme. Videre er det også mulig å beregne den magnetiske kursvektor $(\theta_m^*, \lambda_m^*, \varphi_m^*)$, idet man bruker som utgangspunkt vektorene målt av de magnetometriske og akselerometriske sensorer montert i den blandede sensorenhet 2.

$$H_b^* = \begin{bmatrix} r \\ s \\ t \end{bmatrix} \text{ og } G_b^* = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

som følger:

$$[1] \quad \tan \varphi_m^* = \frac{b}{c}$$

$$[2] \quad \tan \lambda_m^* = -\frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$[3] \quad \tan \theta_m^* = \frac{g(bt - cs)}{(g^2 - a^2) - a(ct - bs)}$$

(g = tyngdeakselerasjon)

Hvis det ikke er forandringer som kommer fra jordens magnetfelt, har vi

$$\varphi_i^* = \varphi_m^*$$

$$\lambda_i^* = \lambda_m^*$$

$$\theta_i^* = \theta_m^*,$$

hvis ikke feil er introdusert av sensorene. Dette innebærer at estimatet av θ_m^k fra formel [3]

ovenfor, basert på magnetiske og akselerometriske utdata fra k 'te sensorenhet 3, ikke trenger

å kompenseres. Hvis ikke, blir den lokale vektor H_l til jordens magnetfelt estimert i det faste referansesystem 9. For å utføre dette, brukes inertkursvektoren, som beregnes for den blandede sensorenhet 2 som følger:

$$H_l^* = \begin{bmatrix} \lambda \\ \beta \\ \delta \end{bmatrix} = \text{Rot}_{bn}(\theta_i^*, \lambda_i^*, \varphi_i^*) H_b^* \begin{bmatrix} r \\ s \\ t \end{bmatrix},$$

der Rot_{nb} er rotasjonsmatrisen mellom referansesystem 10 for legeme og fast referanse - system 9 (inverse matrise av Rot_{nb}).

Siden modulen til H og dens komponenter h_1, h_3 ikke er avgjørende for beregning av θ_m , kan det alltid antas at H_l er generert bare ved rotasjon av θ_d langs Z-aksen i det faste referansesystem 9 (der θ_d er den momentane lokale magnetiske helningsvinkel), nemlig:

$$H_l^* = \begin{bmatrix} \lambda \\ \beta \\ \delta \end{bmatrix} = \text{Rot}_{bn}(\theta_d, 0, 0) H_b^* \begin{bmatrix} r \\ s \\ t \end{bmatrix},$$

der θ_d kan beregnes slik:

$$\tan \theta = -\frac{\beta}{\lambda}.$$

Antagelsen om romkorrelasjon av jordens magnetiske feltvariasjoner mellom alle sensorer 2 og 3 leder til konklusjonen at vinkel θ_d kan brukes til senere å korrigere estimatene for θ_m^k , som kommer fra alle adskilte magnetiske/inerte sensorenheter 3.

Disse estimatene gjøres på basis av målingen av de to følgende vektorer:

$$H_b^k = \text{Rot}_{nb}(\theta_k, \lambda_k, \varphi_k) \text{Rot}_{nb}(\theta_d, 0, 0) H_n \begin{bmatrix} h_1 \\ 0 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

$$G_b^k = \text{Rot}_{bn}(\theta_k, \lambda_k, \varphi_k) G_n \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

På den annen side:

$$G_b^k = \text{Rot}_{nb}(\theta_k, \lambda_k, \varphi_k) \text{Rot}_{nb}(\theta_d, 0, 0) G_n \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

for hver θ_d , og det kan derfor antas at:

$$H_b^k = \text{Rot}_{nb}(\theta_k + \theta_d, \lambda_k, \varphi_k) H_n \begin{bmatrix} h_1 \\ 0 \\ h_3 \end{bmatrix}$$

og

$$G_b^k = \text{Rot}_{nb}(\theta_k + \theta_d, \lambda_k, \varphi_k) G_n \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}$$

Derfor kan vinklene $(\theta_k + \theta_d)$ beregnes ved hjelp av formel [3], og deretter kan θ_d subtraheres fra disse estimerte verdier.

P a t e n t k r a v

1. Et system (1) av inerte/magnetiske sensorer anvendelig til å måle kursvinkel med hensyn på retningen til jordens geografiske nordpol, idet nevnte system består i hovedsak av minst en sensorenhet (2) som har evne til samtidig å bestemme både den lokale retning til jordens magnetiske nordpol og jordens geografiske nordpol; et antall av k magnetiske/inerte sensorenheter (3) bare egnet til å bestemme den lokale retning til magnetisk nord, k a r a k t e r i s e r t v e d at kursvinkelen θ_g^* med hensyn på retningen til jordens geografiske nord, og kursvinkelen θ_m^* med hensyn på jordens lokale retning til magnetisk nord, og som begge kommer fra verdiene målt av nevnte sensorenhet (2), blir brukt til å beregne kursvinkelen θ_g^k med hensyn på retningen til jordens geografiske nord, fra målingene utført av de nevnte k sensorenheter (3).
2. Systemet (1) ifølge patentkrav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den nevnte sensorenhet (2) omfatter minst tre gyroskop (4), minst tre akselerometer (5) som har samme oppstilling i linje som gyroskopaksene (4) og minst tre magnetometre (6) som har samme oppstilling i linje som gyroskopaksene (4) og akselerometeraksene (5).
3. Systemet (1) ifølge patentkrav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den nevnte sensorenhet (2) omfatter tre gyroskop (4) langs tre felles ortogonale akser, tre akselerometre (5) langs tre felles ortogonale akser oppstilt på linje som nevnte gyroskopakser (4) og tre magnetometre (6), langs tre felles ortogonale akser oppstilt på linje med gyroskopaksene (4) og akselerometeraksene (5).

4. Systemet (1) ifølge patentkrav 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t v e d a t

beregningsmetoden som brukes for å finne de k kursvinkler θ_g med hensyn på geografisk nord, omfatter følgende trinn:

- beregning av vinklene θ_g^* , nord; λ^* , stamping; og φ^* , rulling, ved hjelp av en nedholdings-algoritme som bruker verdiene målt av de nevnte gyroscoper (4) og de nevnte akselerometer (5);
- rotasjonen av vektor H_b^* , jordens lokale magnetfelt, målt av de nevnte magnetometer (6) fra referansesystemet (10) for legemer til fast referansesystem(9) ved de nevnte vinkler θ_g^* , λ^* og φ^* ;
- beregning av vinkel θ_d , momentan lokal magnetisk deklinasjon, ved hjelp av komponentene til vektoren H_1^* , jordens lokale magnetiske felt i det nevnte faste referansesystem (9);
- beregning av k kursvinkler θ_g^k med hensyn på jordens magnetiske nord for hver av de nevnte k sensorenhetene (3) ved hjelp av en nedholdings-algoritme, som starter fra verdiene målt med de nevnte akselerometre (8) og de nevnte magnetometre (7) av de nevnte k sensorenheter (3), idet dette skritt i beregningene også kan erstattes av en direkte måling av de nevnte k vinkler θ_m^k ved hjelp av en magnetisk innretning som er montert kardansk, og idet beregning av de nevnte vinkler θ_g^k med hensyn på jordens geografiske nord for de k sensorenheter (3) oppnås ved å subtrahere den nevnte vinkel θ_d fra den nevnte vinkel θ_m^k .

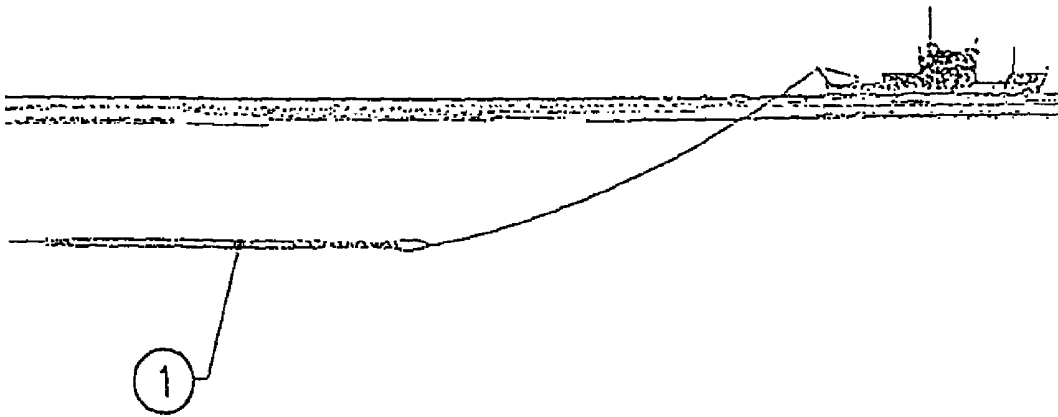


Fig. 1

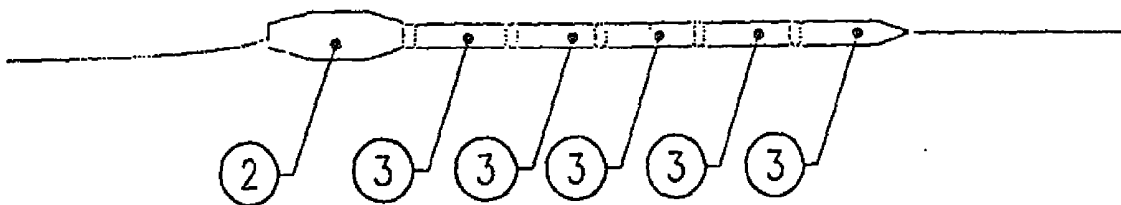


Fig. 2

Fig.3

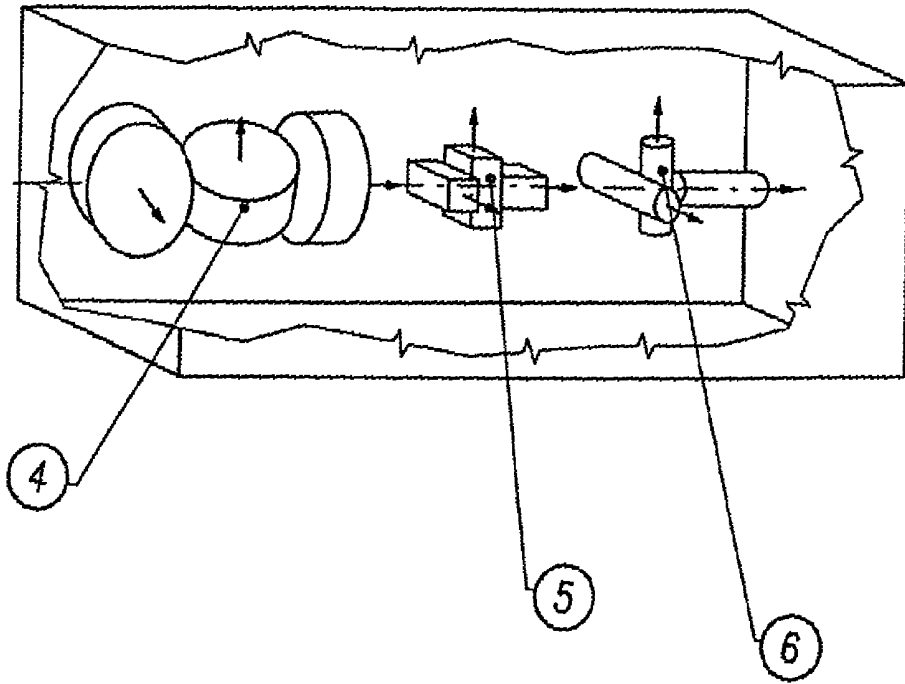
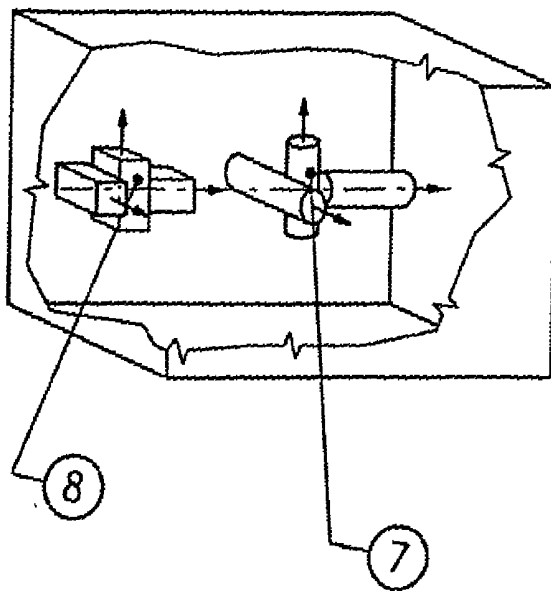


Fig.4



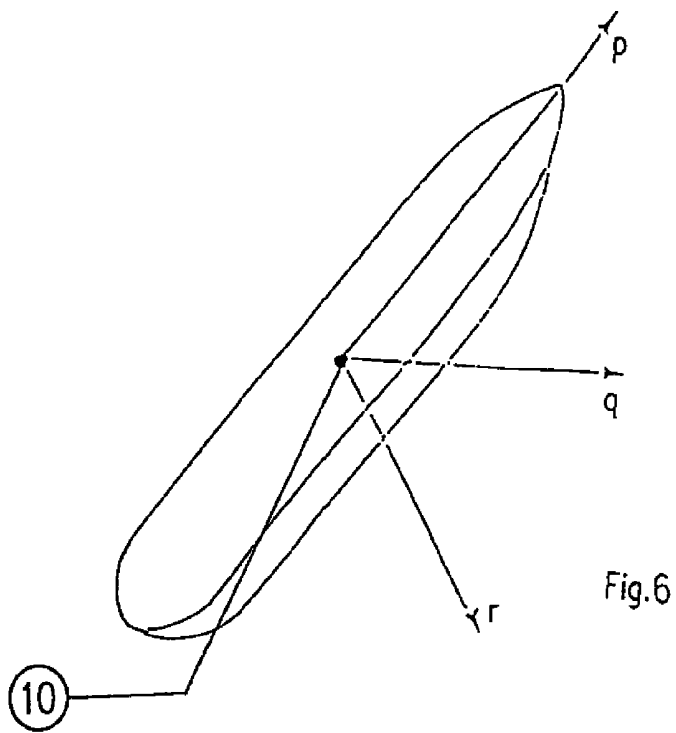
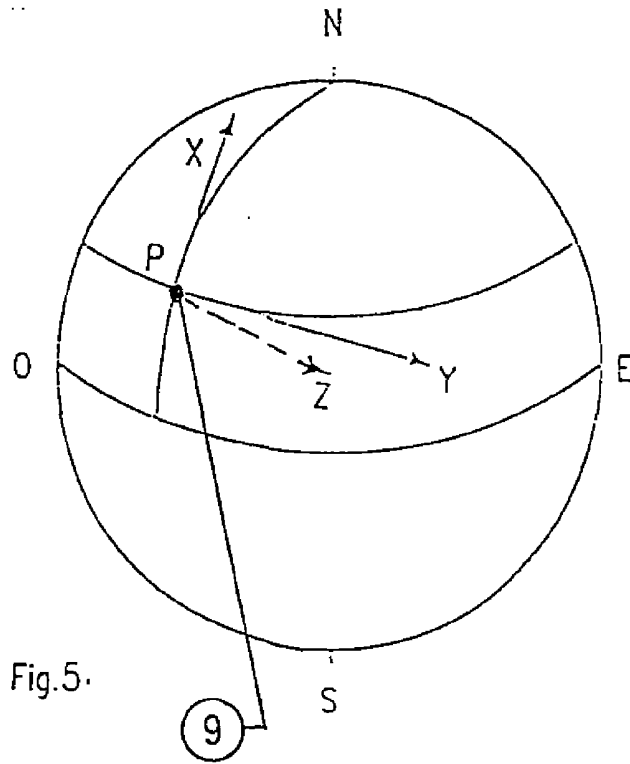


Fig. 7

