

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

305 251

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

B63B 39/14 (2006.01)

B63B 39/00 (2006.01)

B64C 5/10 (2006.01)

G05D 1/08 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-988**
(22) Přihlášeno: **10.12.2013**
(40) Zveřejněno: **01.07.2015**
(Věstník č. 26/2015)
(47) Uděleno: **20.05.2015**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **01.07.2015**
(Věstník č. 26/2015)

(56) Relevantní dokumenty:

RU 2467914 C1; GB 829821 A; JP 3637317B B2; US 4891642 A.

(73) Majitel patentu:
Technická univerzita v Liberci, Liberec 1, CZ

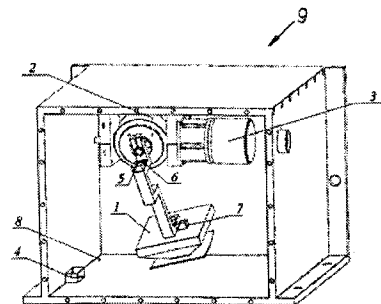
(72) Původce:
Assoc. prof. Dimitar Andonov Dichev, Ph.D.,
Gorna Oryahovica, 5100, BG
Assoc. prof. Hristofor Tsvetanov Koev, Ph.D.,
Gabrovo, 5300, BG
prof. Ing. Petr Louda, CSc., Dlouhý Most, CZ
Ing. Totka Nikolaeva Bakalova, Ph.D., Gabrovo,
5300, BG

(74) Zástupce:
STRNAD Patent. a známková kancelář, Ing. Václav
Strnad, Rychtářská 375/31, 460 14 Liberec 14

(54) Název vynálezu:
**Způsob stanovení předozadního náklonu a
bočního náklonu lodi či letadla s vyloučením
dynamických chyb a měřicí modulový
systém k provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:
Stanovení předozadního a bočního náklonu lodi či letadla spočívá v tom, že podle úhlové výchylky lokální vertikální osy (12) fyzikálního kyvadla (1) se měří a registrují aktuální hodnoty bočního náklonu lodi či letadla pomocí prvního fotoelektrického kódového měniče (2) namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlů bočního a předozadního náklonu lodi či letadla pomocí druhého fotoelektrického kódového měniče (3) namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlů předozadního náklonu. Dynamická chyba způsobená nestabilitou fyzikálního kyvadla (1) v inerciálním prostoru vyjádřená odchylkou od lokální vertikální osy (12) se stanoví a odstraní prostřednictvím dvou párů konstrukčně identických akcelerometrů (4, 5, 6, 7) určených pro měření lineárního zrychlení. Po zpracování signálů z akcelerometrů (4, 5, 6, 7) prostřednictvím zvolené frekvence snímání lineárního zrychlení se získá aktuální hodnota dynamické chyby, která se ze signálů

z prvního a druhého fotoelektrického kódového měniče (2, 3) odstraní dvojitou integrací zjištěných hodnot. Pro další vycištění signálů z obou fotoelektrických kódových měničů (2, 3) od interferenčních jevů se provede linearizace obou zjištěných zrychlení jednak přes první Kalmanův filtr (10) a jednak přes druhý Kalmanův filtr (11), čímž se získají výstupní signály proporcionální k odchylkám fyzikálního kyvadla (1) od lokální vertikální osy (12) v obou stupních volnosti. Měřicí modulový systém (9) obsahuje těleso (8), které je pevně připojeno k lodi či letadlu. Měřicí modulový systém (9) dále obsahuje fyzikální kyvadlo (1), které je mechanicky spojeno s prvním i s druhým fotoelektrickým kódovým měničem (2, 3). Na tělese (8) měřicího modulového systému (9) je umístěn první akcelerometr (4). Druhý a třetí akcelerometr (5, 6) je umístěn na prvním fotoelektrickém kódovém měniči (2). Čtvrtý akcelerometr (7) je umístěn na fyzikálním kyvadle (1). Výstup prvního akcelerometru (4) je spojen s výstupem druhého akcelerometru (5) a následně přiveden společně s výstupem z prvního fotoelektrického kódového měniče (2) na první Kalmanův filtr (10). Výstup třetího akcelerometru (6) je spojen s výstupem čtvrtého akcelerometru (7) a následně přiveden společně s výstupem z druhého fotoelektrického kódového měniče (3) na druhý Kalmanův filtr (11).



CZ 305251 B6

Způsob stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu lodi či letadla s vyloučením dynamických chyb a měřicí modulový systém k provádění tohoto způsobu

5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu přesného stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu lodí či letadel a také měřicího modulového systému k provádění tohoto způsobu. Základním principem při návrhu tohoto systému je zjednodušená technická realizace lokálního vertikálního směru v podobě fyzikálního kyvadla. Účelem je eliminace chyby lokální vertikály v inerciálním prostoru vzniklé v důsledku dynamických účinků pohybu lodí či letadla. Chybu lokální vertikály je možno odstranit získáním dodatečné informace o skutečné odchylce kyvadla v reálném čase umístěného v měřicím systému. Tento měřicí systém je rovněž předmětem řešení předloženého vynálezu.

15

Dosavadní stav techniky

Zařízení ke stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu u lodí či letadel jsou postavena na základě citlivých prvků s využitím principu gyroskopu. Základním principem, který se používá ke stabilizaci vertikály v inerciálním prostoru, čehož je dosaženo na základě vlastností gyroskopu.

Nevýhodou jsou složité konstrukce gyroskopů, vyžadující speciální systémy pro zajištění provozu gyroskopů, velké rozměry, rovněž vysoké náklady na jejich provoz a také jejich nedostatečná spolehlivost za extrémních podmínek.

Účelem vynálezu je navržení a využití odlišného principu pro stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu lodí či letadel, odlišného od gyroskopu, který vykazuje zjednodušenou konstrukci zařízení, čímž se na minimum snižuje instrumentální chyba a dosahuje se vysoké spolehlivosti a také statické i dynamické přesnosti měření. Předností jsou rovněž malé rozměry měřicího systému a jeho nízká cena.

35 Podstata vynálezu

Podstata způsobu stanovení předozadního a bočního náklonu lodí či letadla spočívá v tom, že podle úhlové výchylky lokální vertikální osy fyzikálního kyvadla se měří a registrují aktuální hodnoty bočního náklonu lodí či letadla pomocí prvního fotoelektrického kódového měniče namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlů bočního náklonu a rovněž předozadního náklonu lodí či letadla pomocí druhého fotoelektrického kódového měniče namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlů předozadního náklonu. Dynamická chyba způsobená nestabilitou fyzikálního kyvadla v inerciálním prostoru vyjádřená odchylkou od lokální vertikální osy se stanoví a odstraní prostřednictvím dvou párů konstrukčně identických akcelerometrů určených pro měření lineárního zrychlení vyplývajícího z předozadního náklonu lodí či letadla a bočního náklonu lodí či letadla.

První akcelerometr se umístí na těleso měřicího modulového systému, druhý akcelerometr společně s třetím akcelerometrem se umístí na těleso prvního fotoelektrického kódového měniče a čtvrtý akcelerometr se umístí na fyzikální kyvadlo se dvěma stupni volnosti. Po zpracování signálů z akcelerometrů prostřednictvím zvolené frekvence snímání lineárního zrychlení předozadního náklonu a bočního náklonu lodí či letadla se získá aktuální hodnota dynamické chyby která se ze signálů jak z prvního fotoelektrického kódového měniče tak z druhého fotoelektrického kódového měniče odstraní dvojitou integrací zjištěných hodnot a pro další vyčištění signálů z obou fotoelektrických kódových měničů od interferenčních jevů se provede linearizace obou zjištěných

55

zrychlení jednak přes prvý Kalmanův filtr a jednak přes druhý Kalmanův filtr, čímž se získají výstupní signály proporcionální k odchylkám fyzikálního kyvadla od lokální vertikály osy v obou stupních volnosti, to je předozadní náklon a boční náklon lodi či letadla.

- 5 Měřicí modulový systém k provádění způsobu stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu lodi či letadla obsahuje těleso, které je pevně připojeno k lodi či letadlu a měřicí modulový systém obsahuje dále fyzikální kyvadlo výkyvné ve dvou stupních volnosti, vůči sobě kolmých směrech určených předozadním náklonem a bočním náklonem lodi či letadla. Fyzikální kyvadlo představující lokální vertikální osu je mechanicky spojeno jednak s prvým fotoelektrickým kódovým měničem umístěným na hlavní ose pro měření bočního náklonu lodi či letadla a jednak s druhým fotoelektrickým kódovým měničem umístěným na hlavní ose pro měření předozadního náklonu lodi či letadla. Na tělese měřicího modulového systému je umístěn prvý akcelerometr, jehož měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla, zatímco druhý akcelerometr je umístěn na prvém fotoelektrickém kódovém měniči a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla. Třetí akcelerometr je umístěn rovněž na prvém fotoelektrickém kódovém měniči a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla a čtvrtý akcelerometr je umístěn fyzikálním kyvadle a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla. Výstup prvního akcelerometru je spojen s výstupem druhého akcelerometru a následně přiveden společně s výstupem z prvního fotoelektrického kódového měniče na prvý Kalmanův filtr, zatímco výstup třetího akcelerometru je spojen s výstupem čtvrtého akcelerometru a následně přiveden společně s výstupem z druhého fotoelektrického kódového měniče na druhý Kalmanův filtr. Použité akcelerometry jsou tvořeny mikroelektro-mechanickým systémem pro měření zrychlení.

Objasnění výkresů

- 30 Řešení podle vynálezu je schematicky a v příkladných provedení ukázáno na výkresech, na nichž značí obr. 1 schéma předozadního náklonu a bočního náklonu lodi, obr. 2 mechanickou konstrukci měřicího modulového systému a obr. 3 funkční diagram měřicího modulového systému.

Příklady uskutečnění vynálezu

V příkladu podle obr. 1 je znázorněna loď a její lokální vertikální osa 12, kde prvá šipka 13 značí směr předozadního náklonu lodi a druhá šipka 14 boční náklon lodi.

- 40 Měřicí modulový systém, 9 podle obr. 2 tvoří těleso 8, v němž je umístěno fyzikální kyvadlo 1 mající dva stupně volnosti ve dvou navzájem kolmých směrech, které se shodují se směry předozadního náklonu a bočního náklonu lodi či letadla. Fyzikální kyvadlo 1 je zavěšeno na prvém fotoelektrickém kódovém měniči 2, umístěném na první hlavní měřicí ose pro registraci bočního náklonu lodi či letadla vůči lokální vertikální ose 12 (obr. 1). V tělese 8 měřicího modulového systému 9 je upevněn rovněž druhý fotoelektrický kódový měnič 3, umístěný na druhé hlavní měřicí ose pro registraci předozadního náklonu lodi či letadla vůči lokální vertikální ose 12 (obr. 1).

- 50 První fotoelektrický kódový měnič 2 a druhý fotoelektrický kódový měnič 3 registrují úhly natáčení tělesa 8 měřicího modulového systému 9, přičemž těleso 8 je pevně spojeno s lodí či s letadlem.

- 55 Nestabilita fyzikálního kyvadla 1 v inerciálním prostoru zapříčiňuje vznik dynamických chyb ve výsledcích, to znamená odchylky od lokální vertikální osy 12 (obr. 1). Vzniklé odchylky se následně korigují prostřednictvím signálů přijímaných ze dvou párů konstrukčně shodných akcele-

rometrů 4, 5, 6, 7, tvořených mikroelektro–mechanickými systémy pro měření zrychlení. První akcelerometr 4 a druhý akcelerometr 5 jsou umístěny tak, aby jejich osy byly citlivé na zrychlení vznikající od předozadního náklonu lodi či letadla. Třetí akcelerometr 6 a čtvrtý akcelerometr 7 mají osy umístěny tak, aby registrovaly zrychlení vzniklé od bočního náklonu lodi či letadla.

5 První akcelerometr 4 je umístěn na tělese 8 měřicího modulového systému 9, druhý akcelerometr 5 společně s třetím akcelerometrem 6 jsou umístěny na prvním fotoelektrickém kódovém měniči 2 a čtvrtý akcelerometr 7 je umístěn na fyzikálním kyvadle 1. Druhý akcelerometr 5 a také čtvrtý akcelerometr 7 je citlivý, jak na zrychlení získané z prvního fotoelektrického kódového měniče 2 tak i na zrychlení způsobené pohybem fyzikálního kyvadla 1 v odpovídajícím stupni volnosti.

10 První akcelerometr 4 a také třetí akcelerometr 6 je citlivý jak na zrychlení získané z druhého fotoelektrického kódového měniče 3 tak i na zrychlení způsobené pohybem fyzikálního kyvadla 1 v odpovídajícím stupni volnosti. Výstupní signály z prvního fotoelektronického kódového měniče 2 a rovněž signály z druhého fotoelektrického kódového měniče 3 jsou proporcionální ke zrychlení způsobenému pohybem fyzikálního kyvadla 1 v odpovídajícím stupni volnosti. Následně se provede dvojitá integrace získaných výstupních signálů, čímž se získají signály definující odchylky fyzikálního kyvadla 1 od lokální vertikální osy 12 v obou stupních volnosti, jejichž hodnoty jsou v podstatě totožné s dynamickou chybou, která se ze signálů z prvního fotoelektrického kódového měniče 2 a ze signálů z druhého fotoelektrického kódového měniče 3 odstraní. Pro vyčištění signálů od dalších interferenčních jevů vyskytujících se v měřicích kanálech akcelerometrů 4, 5, 6, 7 se provede linearizace jednak přes první Kalmanův filtr 10 a jednak přes druhý Kalmanův filtr 11 (obr. 3). Tím se získají výstupní signály proporcionální k odchylkám fyzikálního kyvadla 1 od lokální vertikální osy 12 v obou stupních volnosti, což je předozadní náklon a boční náklon lodi či letadla.

25 Operační diagram měřicího modulového systému 9 podle obr. 3 obsahuje těleso 8, které je pevně připojeno k lodi či letadlu a v němž je uloženo fyzikální kyvadlo 1, 1', představující lokální vertikální osu 12. Fyzikální kyvadlo 1, 1' je výkyvné ve dvou stupních volnosti vůči sobě kolmých směrech určených předozadním náklonem a bočním náklonem lodi či letadla. Fyzikální kyvadlo 1 sleduje předozadní náklon lodi či letadla, zatímco fyzikální kyvadlo 1' sleduje boční náklon lodi či letadla. První fotoelektrický kódový měnič 2 je umístěn v tělese 8 měřicího modulového systému 9, rovněž tak druhý fotoelektrický kódový měnič 3, přičemž oba fotoelektrické kódové měniče 2, 3 jsou umístěny na hlavních měřicích osách a zaznamenávají úhly natáčení tělesa 8 měřicího modulového systému 9 vzhledem k lokální vertikální ose 12 a to ve dvou vzájemně kolmých směrech. Takže první fotoelektrický kódový měnič 2 zaznamenává boční náklon lodi či letadla a druhý fotoelektrický kódový měnič 3 zaznamenává předozadní náklon lodi či letadla.

30

35

První akcelerometr 4 je umístěn na tělese 8 měřicího modulového systému 9 a zachycuje zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla. Druhý akcelerometr 5 je umístěn na prvním fotoelektrickém kódovém měniči 2 a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla. Třetí akcelerometr 6 je umístěn rovněž na prvním fotoelektrickém kódovém měniči 2 a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla. Čtvrtý akcelerometr 7 je umístěn na fyzikální kyvadle 1 představovaném lokální vertikální osou 12 a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla.

40

45

Výstup prvního akcelerometru 4 je spojen s výstupem druhého akcelerometru 5 a výstup třetího akcelerometru 6 je spojen s výstupem čtvrtého akcelerometru 7 a získané výstupní signály jsou podrobeny dvojitě integraci. Těleso 8 měřicího modulového systému 9 je pevně připojeno k lodi či letadlu a jeho osy měření jsou nastaveny tak, aby byly citlivé na boční náklon označený v operačním diagramu měřicího modulového systému 9 písmenem θ a také citlivé na předozadní náklon označený písmenem Ψ . Potom na výstupech prvního fotoelektrického kódového měniče 2 a druhého fotoelektrického kódového měniče 3 se získají informace o změně těchto veličin. Informace jsou registrovány s ohledem na časovou souřadnici v podobě funkcí $\theta_r(t)$ a $\Psi_r(t)$. Nestabilita fyzikálního kyvadla 1 v inerciálním prostoru generuje dynamickou chybu ve výsledku, jejíž

50

vlastnosti jsou definovány funkcemi $\alpha(t)$ a $\beta(t)$. Tyto funkce tvoří odchylku fyzikálního kyvadla 1 od ideální astronomické lokální vertikální osy 12 generované podél dvou měřicích souřadnic měřicího modulového systému 9.

- 5 Hodnoty získané ze dvou měřicích kanálů se rovnají součtu požadovaných signálů a příslušných dynamických chyb, to je $\theta_r(t) = \theta(t) + \alpha(t)$ a také $\Psi_r(t) = \Psi(t) + \beta(t)$, kde $\theta(t)$ a $\Psi(t)$ jsou signály definující aktuální hodnoty bočního náklonu a předozadního náklonu ve vztahu k časové ose.

10 Stanovení dynamických chyb $\alpha(t)$ a $\beta(t)$ vyskytujících se ve dvou daných měřicích kanálech se provede pomocí algoritmu pro zpracování dat. Pro vyčištění signálů s obsahem dynamických chyb $\alpha(t)$ a $\beta(t)$ od dalších interferenčních jevů vyskytujících se v měřicích kanálech akcelerometrů 4, 5, 6, 7 se provede linearizace obou zjištěných zrychlení jednak přes první Kalmanův filtr 10 a jednak přes druhý Kalmanův filtr 11. Tím se získají výstupní signály proporcionální k odchylkám fyzikálního kyvadla 1 od lokální vertikální osy 12 v obou stupních volnosti, což je
15 předozadní náklon a boční náklon lodi či letadla.

20 PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob stanovení předozadního a bočního náklonu lodi či letadla s vyloučením dynamických chyb, založený na principu měření a registrace úhlové výchylky lokální vertikální osy (12) fyzikálního kyvadla (1) ve dvou vůči sobě kolmých směrech v inerciální soustavě, **v y z n a -**
25 **č e n ý t í m**, že podle úhlové výchylky lokální vertikální osy (12) fyzikálního kyvadla (1) se měří a registrují aktuální hodnoty bočního náklonu lodi či letadla pomocí prvního fotoelektrického kódového měniče (2) namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlu bočního náklonu a rovněž předozadního náklonu lodi či letadla pomocí druhého fotoelektrického kódového měniče (3) namontovaného na příslušnou osu pro měření úhlu předozadního náklonu, přičemž dynamická chyba způsobená nestabilitou fyzikálního kyvadla (1) v inerciálním prostoru vyjádřená odchylkou od lokální vertikální osy (12) se stanoví a odstraní prostřednictvím dvou párů konstrukčně identických akcelerometrů (4, 5, 6, 7) určených pro měření lineárního zrychlení vyplývajících z předozadního náklonu lodi či letadla a bočního náklonu lodi či letadla, přičemž první akcelerometr (4) se umístí na těleso (8) měřicího modulového systému (9), druhý akcelerometr (5) společně s třetím akcelerometrem (6) se umístí na těleso prvního fotoelektrického kódového měniče (2) a čtvrtý akcelerometr (7) se umístí na fyzikální kyvadlo (1) se dvěma stupni volnosti, načež po zpracování signálů z akcelerometrů (4, 5, 6, 7) prostřednictvím zvolené frekvence snímání lineárního zrychlení se získá aktuální hodnota dynamické chyby, která se ze signálů jak z prvního fotoelektrického kódového měniče (2) tak z druhého fotoelektrického kódového měniče (3) odstraní dvojitou integrací zjištěných hodnot a pro další vyčištění signálů z obou fotoelektrických kódových měničů (2, 3) od interferenčních jevů se provede linearizace obou zjištěných zrychlení jednak přes první Kalmanův filtr (10) a jednak přes druhý Kalmanův filtr (11), čímž se získají výstupní signály proporcionální k odchylkám fyzikálního kyvadla (1) od lokální vertikální osy (12) v obou stupních volnosti, to je předozadní náklon a boční náklon lodi či letadla.
45

2. Měřicí modulový systém k provádění způsobu stanovení předozadního náklonu a bočního náklonu lodi či letadla podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že těleso (8) měřicího modulového systému (9) je pevně připojeno k lodi či letadlu a měřicí modulový systém (9) obsahuje fyzikální kyvadlo (1) výkyvné ve dvou stupních volnosti vůči sobě kolmých směrech určených předozadním náklonem a bočním náklonem lodi či letadla a fyzikální kyvadlo (1) představující lokální vertikální osu (12) je mechanicky spojeno jednak s prvním fotoelektrickým kódovým měničem (2) umístěným na hlavní ose pro měření bočního náklonu lodi či letadla a jednak s druhým fotoelektrickým kódovým měničem (3) umístěným na hlavní ose pro měření předozadního náklonu lodi či letadla, přičemž na tělese (8) měřicího modulového systému (9) je umístěn
55

prvý akcelerometr (4), jehož měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla, zatímco druhý akcelerometr (5) je umístěn na prvním fotoelektrickém kódovém měniči (2) a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při předozadním náklonu lodi či letadla, třetí akcelerometr (6) je umístěn rovněž na prvním fotoelektrickém kódovém měniči (2) a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla a čtvrtý akcelerometr (7) je umístěn na fyzikálním kyvadle (1) a jeho měřicí osy jsou nasměrovány tak, aby zachycovaly zrychlení vznikající při bočním náklonu lodi či letadla, přičemž výstup prvního akcelerometru (4) je spojen s výstupem druhého akcelerometru (5) a následně přiveden společně s výstupem z prvního fotoelektrického kódového měniče (2) na první Kalmanův filtr (10), zatímco výstup třetího akcelerometru (6) je spojen s výstupem čtvrtého akcelerometru (7) a následně přiveden společně s výstupem z druhého fotoelektrického kódového měniče (3) na druhý Kalmanův filtr (11).

3. Měřicí modulový systém podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že akcelerometry (4, 5, 6, 7) tvoří mikroelektro–mechanický systém pro měření zrychlení.

20

2 výkresy

Seznam vztahových značek:

- 25 1 – fyzikální kyvadlo
- 2 – první fotoelektrický kódový měnič
- 3 – druhý fotoelektrický kódový měnič
- 4 – první akcelerometr
- 5 – druhý akcelerometr
- 30 6 – třetí akcelerometr
- 7 – čtvrtý akcelerometr
- 8 – těleso
- 9 – měřicí modulový systém
- 10 – první Kalmanův filtr
- 35 11 – druhý Kalmanův filtr
- 12 – lokální vertikální osa
- 13 – první šipka
- 14 – druhá šipka

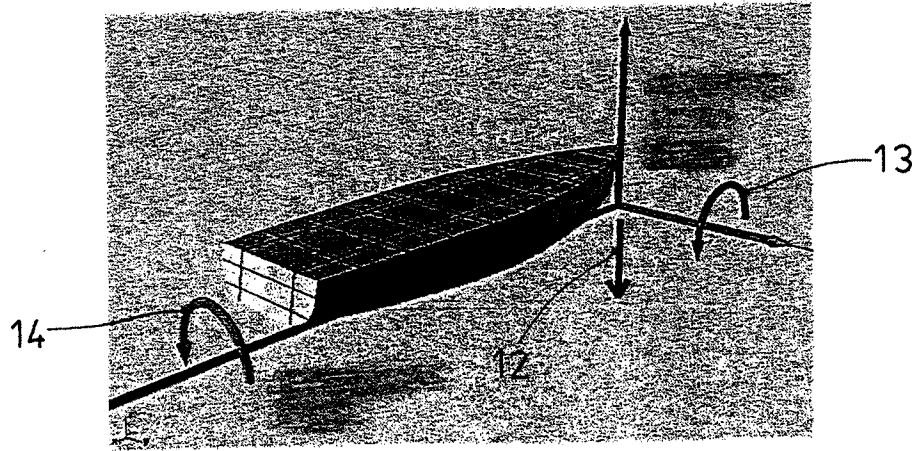


FIG. 1

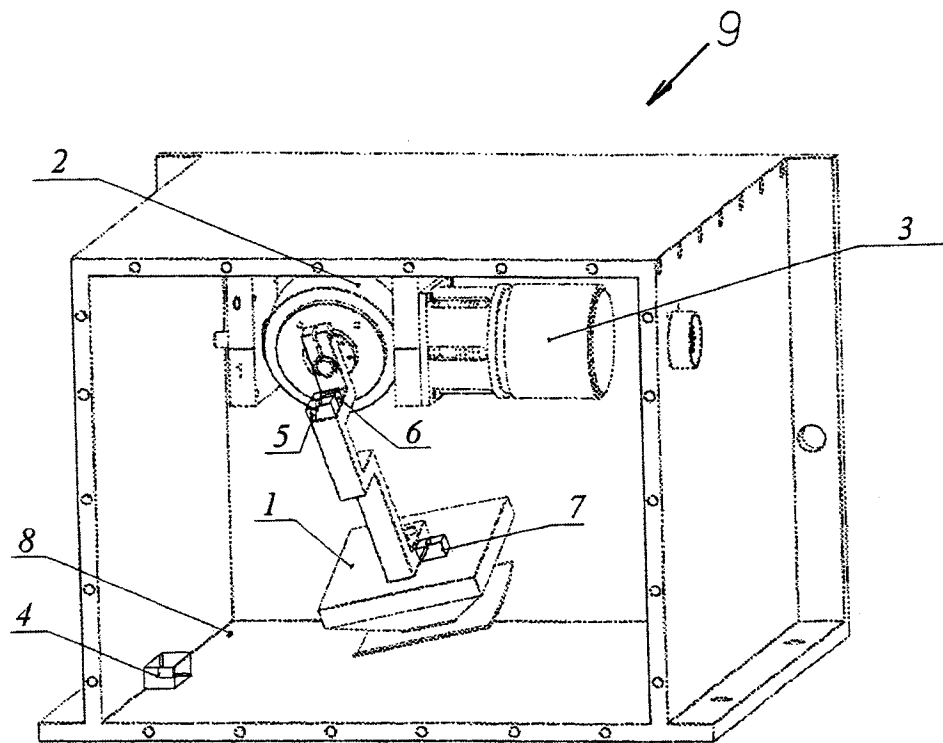


FIG. 2

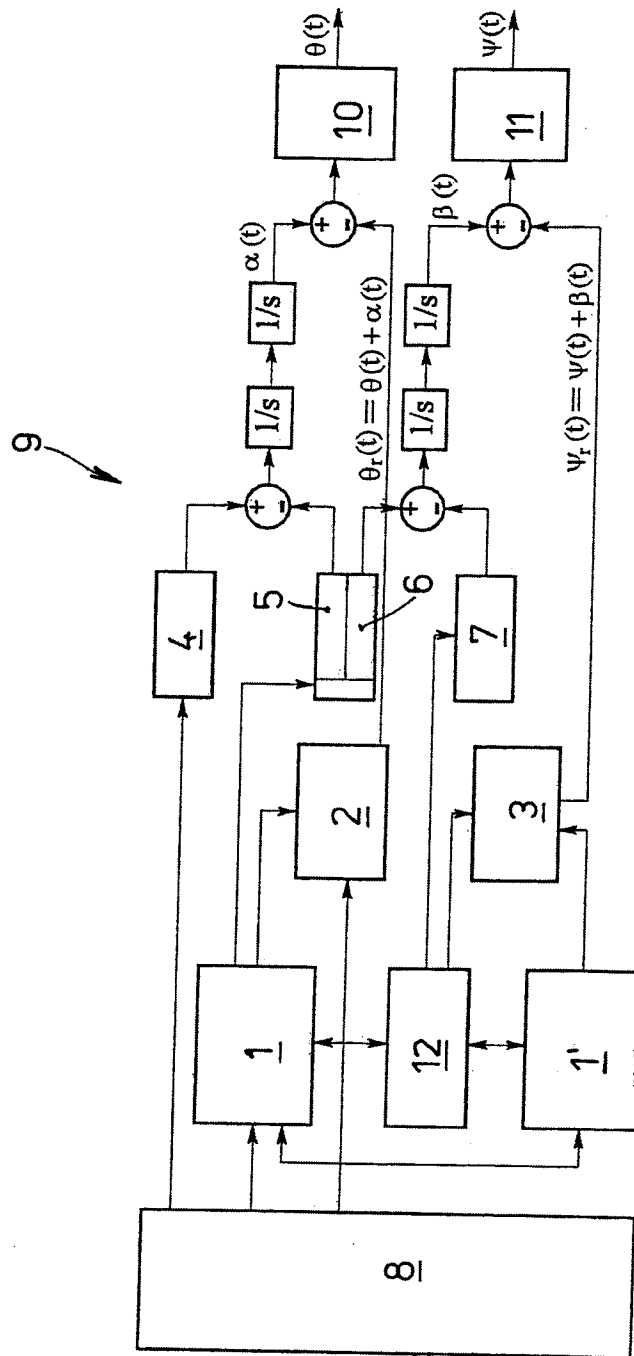


FIG. 3

Konec dokumentu