



УКРАЇНА

(19) UA (11) 2109 (13) U

(51) 7 G01P9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ДАТЧИК КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

1

(21) 2003054868

(22) 28 05 2003

(24) 15 10 2003

(46) 15 10 2003, Бюл. № 10, 2003 р.

(72) Шервашидзе Володимир Варламович, Мурзаханов Олександр Валентинович, Леоненко Костянтин Миколайович

(73) Шервашидзе Володимир Варламович, Мурзаханов Олександр Валентинович, Леоненко Костянтин Миколайович

(57) 1 Датчик кутової швидкості, що містить розміщений за допомогою гнучкого підвісу чутливий елемент з промотором, датчик положення, коло зворотного зв'язку, схему визначення показника кутової швидкості, при цьому компенсаційна котушка силового перетворювача кола зворотного зв'язку встановлена на чутливому елементі між розміщеними від неї із зазором плоскими постійними магнітами із зустрічною орієнтацією магнітних полів, а коло зворотного зв'язку містить два активні випрямлячі, кожен з яких має два відповідних входи, причому прямий вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом першої котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом другої котушки вказаного датчика положення, прямий вхід другого випрямляча з'єднаний з виводом другої котушки індуктивності, а інший вхід другого випрямляча з'єднаний із виводом першої котушки індуктивності диференційного датчика положення, виводи від вказаних випрямлячів з'єднані із відповідними входами суматора, який відрізняється тим, що промотор встановлено на чутливому елементі так, що вісь його обертання направлена перпендикулярно до осі, по якій згинається підвіс, і до осі симетрії чутливого елемента

2 Датчик за п. 1, який відрізняється тим, що до схеми визначення показника кутової швидкості входить вимірювальний резистор, з'єднаний із входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході датчика та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу на чутливий елемент

3 Датчик за п. 1 або 2, який відрізняється тим, що чутливий елемент закріплено на підвісі, який складається принаймні з пари пружних і гнучких

2

пластинок, розміщених по різні боки чутливого елемента, кожна з яких утримується за кінці між двома паралельними пластинами, одна з яких прикріплена до корпусу датчика, а інша своїм протилежним кінцем - до чутливого елемента

4 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що компенсаційна котушка електромагнітного силового перетворювача розміщена на чутливому елементі у заглибленні так, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента

5 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що підвіс виготовлено з міцного та пружного матеріалу, зокрема з реній-молібденового сплаву

6 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що чутливий елемент виготовлено з струмопровідного матеріалу

7 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що плоскі постійні магніти виготовлені з матеріалу з високими магнітними властивостями, стабільними в широкому діапазоні температур, зокрема з самарій-кобальтового сплаву

8 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що датчик положення розміщено на рівні вільного кінця чутливого елемента

9 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що вказаний підвіс чутливого елемента закріплено на корпусі через перехідник з принаймні трьома пружними балочками, розміщеними принаймні в двох паралельних з вимірювальною віссю датчика площинах, протилежні кінці яких жорстко защемлені на корпусі та на перехіднику, причому пружність балочок перевищує пружність підвісу чутливого елемента

10 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що на корпусі датчика біля центра ваги чутливого елемента паралельно з вимірювальною віссю, встановлені обмежувачі

11 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що у чутливому елементі вздовж його осі симетрії та перпендикулярно до осі, по якій згинається підвіс, виконане заглиблення, а на корпусі датчика - відповідний виступ

12 Датчик за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що у чутливому елементі вздовж осі, по якій згинається підвіс, та перпендикулярно до осі симетрії чутливого елемента,

(13) U

(11) 2109

(19) UA

виконане заглиблення, а на корпусі датчика - відповідний виступ

Винахід віднесеться до вимірювальної техніки, зокрема до проскопичних датчиків кутової швидкості обертання об'єкта, і може бути використаний в різноманітних інерційних приладах та системах для автономного орієнтування та навігації транспортних засобів, а також в об'єктах робототехніки, для топогеодезичного забезпечення будівництва тунелів, шахт, при укладці трубопроводів, бурінні свердловин, для оцінки стану гальмівних систем різноманітних транспортних засобів, залізничних колій, а також у інших сферах промисловості, в тому числі при роботі вказаних приладів та систем в умовах з високим рівнем радіації, температури та навантажень.

В сучасних умовах широко використовують датчики кутової швидкості компенсаційного типу. Вони являють собою автоматичні компенсаційні системи із негативним зворотним зв'язком, в яких, як відомо, різко зменшується похибка, яка пов'язана безпосередньо з чутливим елементом, підвищується лінійність перетворення та розширюється діапазон вимірювань.

Найближчим аналогом запропонованого винаходу є датчик кутової швидкості описаний у патенті України на корисну модель UA 1207, G01P9/02, 2002, який, зокрема, включає розміщений за допомогою пружного і гнучкого підвісу чутливий елемент з промотором, при цьому промотор встановлено на чутливому елементі таким чином, що вісь обертання промотору є направленою перпендикулярно до осі, по якій згинається підвіс, і паралельно до осі симетрії чутливого елемента.

Недоліком вищезазначеного пристрою є неможливість одночасного використання у вимірювальному приладі, наприклад, інклінометрі, трьох датчиків кутової швидкості з трьома взаємоперпендикулярними осями чутливості у тому випадку, коли для подібного приладу існує обмеження за габаритами, наприклад, при застосуванні у трубопроводах, або свердловинах певного діаметру.

Метою винаходу є створення надійного, конструктивно простого, чутливого датчика для вимірювання кутової швидкості, вісь чутливості котрого була б перпендикулярною до осі симетрії чутливого елемента.

Дана мета досягається створенням датчика кутової швидкості до якого входять чутливий елемент з гідромотором, датчик положення, коло зворотного зв'язку та схема визначення показника кутової швидкості. Чутливий елемент закріплено у корпусі за допомогою гнучкого підвісу, компенсаційна котушка силового перетворювача кола зворотного зв'язку встановлена на чутливому елементі між розміщеними від неї із зазором плоскими постійними магнітами із зустрічною орієнтацією магнітних полів.

Чутливий елемент з промотором закріплено у корпусі на підвісі, який складається принаймні з пари пружких і гнучких пластинок, розміщених по різні боки від чутливого елемента, кожна з яких утримується за кінці між двома паралельними

пластинами, одна з яких кріпиться до корпусу датчика, а інша - до чутливого елемента.

Підвіс чутливого елемента закріплений в корпусі через перехідник з розміщеними паралельно до вимірювальної вісі датчика принаймні трьома пружними та гнучкими балочками, розміщеними принаймні в двох площинах та жорстко закріплені на корпусі і на перехіднику, причому пружність балочок повинна перевищувати пружність підвісу.

Таке розміщення та властивості балочок дозволяють перехіднику переміщуватися у датчику вздовж вимірювальної вісі.

Для обмеження переміщення чутливого елемента в площині XOZ застосовані обмежувачі: вздовж вісі Z, для чого у чутливому елементі біля його центра ваги та вздовж вісі X датчика (паралельно з віссю симетрії Б-Б чутливого елемента та перпендикулярно до вісі А-А, по якій згинається підвіс) зроблене заглиблення, а на корпусі датчика - відповідний виступ, а також вздовж вісі X датчика, для чого біля центра ваги чутливого елемента перпендикулярно до вісі симетрії Б-Б чутливого елемента, (його поздовжньої вісі) та паралельно з віссю А-А, по якій згинається підвіс, зроблене вздовж вісі Z датчика заглиблення, а на корпусі датчика - відповідний виступ.

Окрім того, на корпусі вздовж вимірювальної вісі Y датчика встановлені обмежувачі.

Така система забезпечує віброзахист від впливу деформаційних сил на датчик кутової швидкості з будь-якого напрямку.

Компенсаційна котушка магнітоелектричного силового перетворювача розміщена на чутливому елементі у заглибленні так, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента.

Підвіс виготовлено з міцного та пружного матеріалу, зокрема з реній-молібденового сплаву, а чутливий елемент - з струмопровідного матеріалу.

Плоскі постійні магніти виготовлені з матеріалу з високими магнітними властивостями, стабільними в широкому діапазоні температур, зокрема з самарій-кобальтового сплаву.

Датчик положення розміщено на рівні вільного кінця чутливого елемента.

Коло зворотного зв'язку містить два активні випрямляча, кожен з яких має два відповідних входи, причому прямий вхід першого випрямляча з'єднаний із виводом від першої котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший вхід першого випрямляча з'єднаний з виводом від другої котушки вказаного датчика положення, прямий вхід другого випрямляча з'єднаний з виводом від другої котушки індуктивності, а інший вхід другого випрямляча з'єднаний із виводом від першої котушки індуктивності диференційного датчика положення, виводи від вказаних випрямлювачів з'єднані із відповідними входами до суматора.

До схеми визначення показника кутової швидкості входять вимірювальний резистор, з'єднаний

зі входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході датчика та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу на чутливий елемент.

Новим у запропонованому пристрої є розміщення промотора на чутливому елементі так, що вісь його обертання є направленою перпендикулярно до вісі, по якій згинається підвіс та вісі симетрії чутливого елемента.

На фіг.1 представлена у площині XOZ принципова конструктивна схема датчика кутової швидкості.

На фіг.2 - те саме у площині XOY.

На фіг.3 показана система координат, яка пов'язана з об'єктом.

На фіг.4 представлена загальна електрична схема датчика кутової швидкості.

Датчик для вимірювання кутової швидкості (фіг.1, 2) складається з корпусу 1, в якому на гнучкому пружному підвісові 2 розміщений чутливий елемент 3 у вигляді тонкої пластини з струмопровідного матеріалу, наприклад із алюмінієвого сплаву Д16. На чутливому елементі підвішують промотор 4 так, щоб його вісь обертання (вісь кінетичного моменту Н) була перпендикулярна до вісі А-А, по якій згинається підвіс, та до поздовжньої вісі симетрії чутливого елемента Б-Б (фіг.1). У якості промотора 4 можна використовувати будь-який серійно виготовлений промотор з необхідними технічними характеристиками, наприклад промотор ГМС-0,01В.

На внутрішній боковій стінці корпусу 1 встановлені один проти іншого постійні магніти 5 плоскої форми із зустрічною орієнтацією магнітних полів та увімкнуті по мостовій схемі індукційні котушки 6, 7 датчика положення чутливого елемента 3, у якості якого може бути використаний, наприклад, диференційний датчик положення. Живлення вказаних котушок 6, 7 здійснюється за допомогою високочастотного генератора 8 (фіг.4).

Виводи від індукційних котушок 6, 7 диференційного датчика положення з'єднані з відповідними входами до блоку 9 для формування відповідної компенсаційної сили для здійснення зворотного зв'язку будь-яким відповідним відомим електроелектричним силовим перетворювачем. Проте краще це здійснювати шляхом обробки диференційних сигналів, які поступають від вказаних котушок 6, 7 датчика положення так, як це описано далі. Блок 9 можна встановлювати як у корпусі 1 пристрою, так і поза ним. В останньому випадку розширюються можливі сфери застосування датчика.

На чутливому елементі 3 у зустрічному полі розміщених на корпусі постійних магнітів 5 встановлена компенсаційна котушка 10, краще у вигляді плоскої індукційної котушки 10, обмотка якої зроблена, наприклад, з мідного проводу. Вказана котушка 10 розміщена в чутливому елементі у заглибленні так, щоб вона знаходилася на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента. Подача живлення до компенсаційної котушки 10 та до промотора 4 здійснюється через металічний підвіс 2 чутливого елемента 3.

Чутливий елемент 3 закріплено на підвісові, який складається принаймні з пари пружких і гнуч-

ких пластинок 2, розміщених по різні боки від чутливого елемента. Кожна з пластинок 2 підвісу утримується за кінці між двома паралельними пластинами 11, одна з яких за один кінець кріпиться до корпусу 1 датчика (ця пластина на фігурах не показана), а інша своїм протилежним кінцем - до чутливого елемента 3. При цьому підвіс 2 має властивість згинатися. Підвіс 2 у формі тонкої прямокутної пластинки виготовляють з матеріалів, яким також властива висока міцність та пружність, наприклад, реній-молібденовий сплав. Інша особливість підвісу полягає в тому, що його довжина достатньо мала у порівнянні з шириною. Наприклад, довжина, ширина та товщина підвісу 2 можуть співвідноситися між собою як 5:15:1 відповідно. Це істотно підвищує власну частоту коливань підвісу та покращує динамічні властивості датчика.

Вказаний підвіс 2 можна також прикріплювати до корпусу 1 датчика через перехідник 12 за допомогою пружких гнучких балочок (на фігурах не показані), які розміщують паралельно до вимірювальної вісі Х, причому їх жорстко прикріплюють одним кінцем до корпусу 1, і іншим - до перехідника 12. Кількість балочок має бути те меншою за три і вони повинні розміщуватися принаймні у двох паралельних площинах. Пружкість балочок має перевищувати пружкість підвісу 2 чутливого елемента 3. Таке розміщення та властивості балочок дозволить перехіднику 12 переміщуватися в площині XOZ, паралельній до вимірювальної вісі, під впливом ударних сил, які діятимуть на корпус 1 у вказаній площині, що зменшуватиме навантаження на підвіс 2 чутливого елемента 3.

Для обмеження переміщення чутливого елемента 3 в площині XOZ та XOY застосовані обмежувачі (на фігурах не показані)

Постійні магніти 5 виготовляють із сплавів, які мають високі магнітні властивості та проявляють стабільність в широкому діапазоні температур. Таким матеріалом може бути, наприклад, самарій-кобальтовий сплав.

Блок 9 - це може бути будь-який відповідний пристрій аналогового типу для обробки диференційних сигналів, зокрема він може складатися з двох випрямлячів 13 та 14, які зроблені по схемі активного випрямлення високочастотного електричного сигналу. Кожен з випрямлячів 13 і 14 має по два відповідних входи. Прямий вхід - для з'єднання із виводом від однієї котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента 3, а інший - для з'єднання з виводом від іншої котушки цього ж датчика положення. Зокрема, прямий вхід випрямляча 13 з'єднаний із виводом від котушки 6 датчика положення, а інший - з виводом від котушки 7. І навпаки, прямий вхід до випрямляча 14 з'єднаний з виводом від котушки 7 датчика положення, і інший - з виводом від котушки 6 того ж датчика положення чутливого елемента 3. Амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 13 залежить не лише від амплітуди сигналу з котушки 6, але і від різниці між амплітудами сигналів від котушок 6 та 7, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 14 залежатиме від амплітуди сигналу з котушки 7 та від різниці між амплітудами сигналів з котушок 7 та 6. Виводи активних випрямлячів 13 та 14 пов'язані зі входа-

ми до суматора 15, на виході якого амплітуда електричного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрямок відхилення. При потребі, вивід суматора 15 з'єднують зі входом підсилювача 16.

Навантаженням суматора 15 - підсилювача 16 є послідовно увімкнуті компенсаційна котушка 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 17, з паралельно увімкнутим конденсатором 18. Стала часу RC-кола, до якого входять паралельно увімкнуті резистор 17 та конденсатор 18, дорівнює:  $T=RC$ .

Стала часу  $T$  відповідає частоті  $f: f=1/2\pi T$ . Частота  $f$  дорівнює верхній частоті вимірюваних кутових швидкостей. Вимірювальний резистор 17 з'єднаний зі входом до буферного підсилювача 19, який має коло для встановлення на виході датчика кутової швидкості необхідного масштабу сигналу ( $R_{масшт}$ ) за допомогою резистора 20 та коло для встановлення нульового сигналу за допомогою корегуючого резистора 21 ( $R_{корект}$ ) на виході буферного підсилювача 19 при відсутності впливу на чутливий елемент 3. Живлення на резистор 21 подається від високо стабільного джерела струму (на фігурах не показано).

Для більшої наочності на фіг.3 представлена пов'язана з об'єктом права система координат, на якій точка  $O$  - це центр ваги чутливого елемента 3,  $\bar{\Omega}$  - абсолютна кутова швидкість об'єкта, вісь обертання промотора (вісь кінетичного моменту  $\bar{H}$ ) направлена вздовж вісі  $OY$ , вісь підвісу - вздовж вісі  $OZ$ , а вимірювальною є вісь  $OX$ .

Запропонований датчик кутової швидкості працює наступним чином.

Після виходу промотора 4 на робочий режим (пристрій для розгонки промотора на фігурах не показано) подають живлення до відповідних блоків датчика кутової швидкості. При обертанні об'єкта, кутову швидкість якого вимірюють та на якому встановлено пристрій для її вимірювання, виникає момент напрямку  $\bar{M}_H$ , який буде прагнути сумістити вектор кінетичного моменту  $\bar{H}$  з складовою кутової швидкості  $\bar{\Omega}_X$  об'єкта по найкоротшій відстані:  $\bar{M}_H = \bar{H} - \bar{\Omega}_X$  [2]. Причому, вектор направляючого моменту  $\bar{M}_H$  збігатиметься з позитивним напрямком вісі  $OZ$ . Це означає, що під впливом направляючого моменту  $\bar{M}_H$  чутливий елемент 3 буде прагнути повернутися кругом вісі  $OZ$ , а підвіс буде згинатися по цій самій вісі  $OZ$ , що визначатиметься новим взаємним положенням чутливого елемента 3 та індукційних котушок 6 та 7 датчика положення відносно того положення, яке він займав у корпусі 1 у стані рівноваги.

Живлення до вказаних котушок 6 та 7 надходить від високо частотного генератора 8. Сигнали від котушок 6, 7 диференційного датчика положення поступатимуть на вхід до блоку 9 для обробки: випрямлення його у постійний по формі і змінний за знаком сигнал, підсилення та перетворення його на компенсаційний сигнал, який надходитиме до розміщеної на чутливому елементі та в зустрічному полі постійних магнітів плоскої компенсаційної котушки 10 магнітоелектричного силового

перетворювача для здійснення зворотного зв'язку. Реалізація зворотного зв'язку полягає в тому, щоб повертати чутливий елемент 3 у первісне положення і втримувати його у стані рівноваги відносно корпусу 1, для чого формується компенсаційна сила, за допомогою якої розвивається момент протидії  $\bar{M}_{вим}$ , який дорівнює направляючому моменту  $\bar{M}_H$ , але при цьому має протилежний знак.

Для додаткового підвищення точності вимірювання та збільшення чутливості диференційного датчика положення використовують схеми активних випрямлячів 13 та 14, що дозволяють здійснювати обробку диференційних сигналів таким чином, що амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 13 залежить не лише від амплітуди сигналу з котушки 6, але і від різниці між амплітудами сигналів від котушок 6 та 7, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 14 залежатиме від амплітуди сигналу від котушки 7 та від різниці між амплітудами сигналів від котушок 7 та 6. Для цього на прямий вхід випрямляча 13 від котушки 6 поступає високо частотний сигнал у формі:  $u_1=U_1 \cdot \sin \omega \cdot t$ , а на інший вхід випрямляча 13 - сигнал від котушки 7 у формі:  $u_2=U_2 \cdot \sin \omega \cdot t$ . На виході випрямляча 13 буде сигнал у формі:  $(U_1-KU_2)$ , де  $U_1$  та  $U_2$  - амплітуди високо частотних коливань сигналів відповідно від котушок 6 та 7;  $u_1, u_2$  - поточні високо частотні коливання сигналів, відповідно від котушок 6 та 7;  $\omega$  - кругова частота генератора для живлення котушок 6 та 7 диференційного датчика положення;  $t$  - час,  $K < 1$ .

На прямий вхід випрямляча 14 поступає з виходу котушки 7 високо частотний сигнал у формі:  $u_2=U_2 \cdot \sin \omega \cdot t$ , а на інший вхід випрямляча 14 - з виходу котушки 6 у формі:  $u_1=U_1 \cdot \sin \omega \cdot t$ . На виході випрямляча 14 виникає сигнал у формі:  $-(U_2-KU_1)$ .

Сигнали з виходів випрямлячів 13 та 14 поступають на вхід суматора 15, де вони складаються і набувають форми:  $U_1(1+K)-U_2(1+K)$ . За потреби, цей сигнал підсилюють, для чого вивід з суматора 15 з'єднують зі входом до підсилювача 16, на виході, з якого сигнал матиме форму:  $A[U_1(1+K)-U_2(1+K)]$ , де  $A$  - коефіцієнт підсилення, який визначається параметрами магнітів 5, компенсаційної котушки 10 магнітосилового перетворювача тощо. Амплітуда вказаного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента 3, а знак вказує на напрямок цього відхилення.

Сигнал з виходу суматора 15 чи підсилювача 16 подається на послідовно з'єднані компенсаційну котушку 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 17 з паралельно увімкнутим конденсатором 18. В результаті взаємодії зустрічно направлених полів постійних магнітів 5, що на корпусі 1, та електромагнітного поля компенсаційної котушки 10 датчика, що на чутливому елементі 3, здійснюватиметься відповідний вплив на чутливий елемент 3. Величина падіння напруги на вимірювальному резисторі 17 пропорційна величині струму, який проходить через компенсаційну котушку 10 силового перетворювача, а величина струму пропорційна величині компенсаційної сили, яка повертатиме чутливий елемент 3 в узгоджене відносно корпусу 1 первіс-

не нульове положення, а отже буде пропорційна кутовій швидкості.

Сигнал з вимірювального резистора 17 подається на вхід буферного підсилювача 19, який має коло, в якому за допомогою резистора 20 встановлюють необхідний масштаб сигналу на виході датчика кутової швидкості, а також коло, в якому за допомогою резистора 21 встановлюють нульовий сигнал на виході буферного підсилювача 19 при відсутності впливу на чутливий елемент 3. На виході буферного підсилювача 19 одержують сигнал у формі  $U_{вих} = s \cdot a$ , де  $s$  - коефіцієнт крутизни вказаного датчика, а  $a$  - величина кутової швидкості обертання об'єкта.

Робота дослідних зразків, в яких втілена корисна модель, підтверджує їх високі техніко-економічні показники. Оскільки конструктивно датчики не складні, вартість їх є досить помірною. Діапазон кутової швидкості, що вимірюється, коли-

вається від  $\pm 10$  до  $\pm 1000$  град/сек., динамічний діапазон - від  $10^4$  до  $10^7$ , порогова чутливість складає 0,01 град/годину, "дрейф":  $< 0,3 - < 1,5$  град/годину, власна частота:  $> 80$  Гц. Ресурс роботи складає 5000 годин. Датчики кутової швидкості зберігають працездатність після впливу поодиноких ударів з перевантаженнями до 200g, а також при роботі з високим рівнем радіації та в діапазоні температур від -50 до +70 градусів Цельсія.

#### Література:

1. Шервашидзе В.В., Шкляр В.П., Леоненко С.М. та інш. Датчик кутової швидкості та система його віброзахисту // Патент України на корисну модель №1207, бюл. "Промислова власність", №4, 2002 р.
2. Воронков Н.Н., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование: — Москва, "Недра", 1973, С.35.

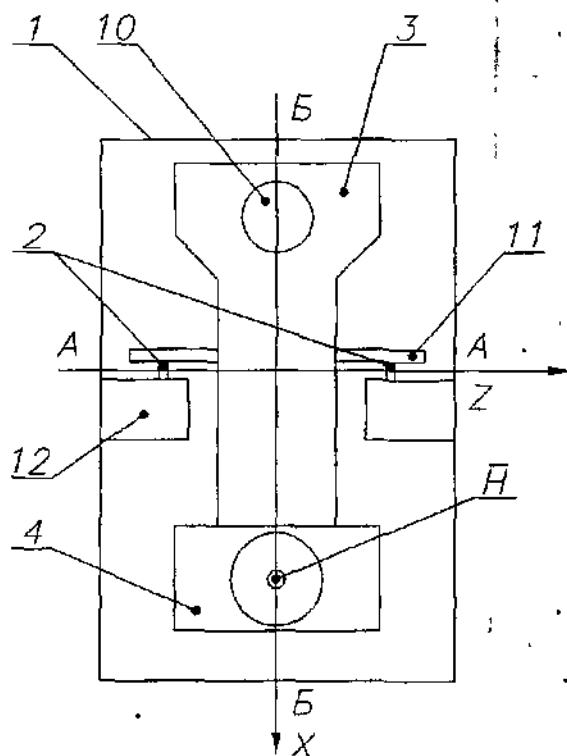


Fig. 1

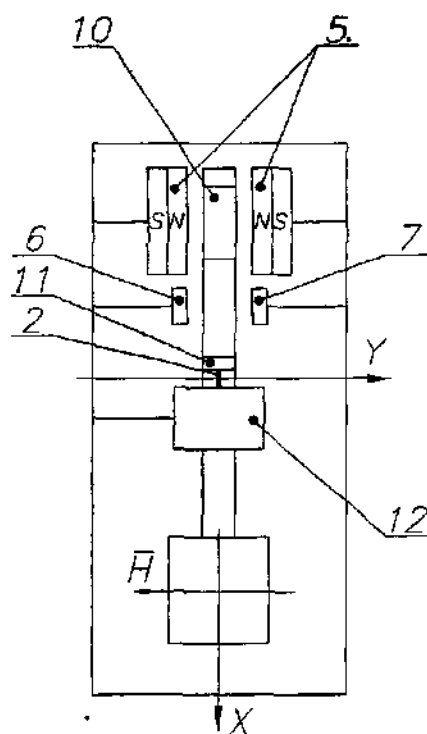


Fig. 2

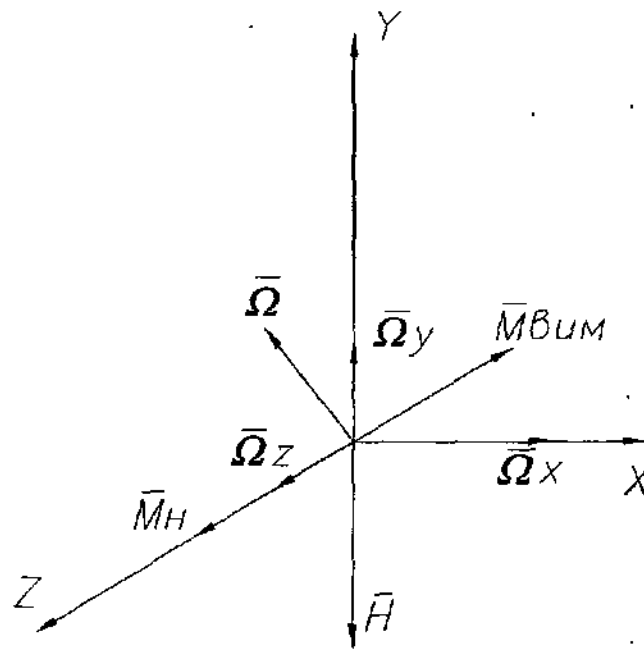


Fig. 3

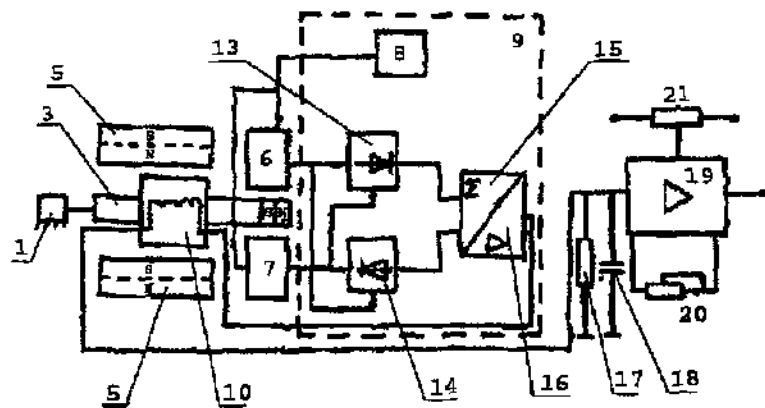


Fig. 4