



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 61160

(13) C2

(51) 7 G01P9/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ, ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ ТА БЛОК ОБРОБКИ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПРИСТРОЮ

1

(21) 2001064509

(22) 27 06 2001

(24) 17 11 2003

(46) 17 11 2003, Бюл. № 11, 2003 р

(72) Шервашидзе Володимир Варлаамович, Шкляр Володимир Петрович, Леоненко Сергій Миколайович, Гуменюк Володимир Григорович, Гаврилюк Володимир Леонідович, Васильєв Володимир Леонідович, Олексієнко Микола Петрович

(73) ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "СПЕЦСЕРВІС"

(56) SU, A1, 1793382, 07 02 1993

SU, A1, 1830484, 30 07 1993

RU, A, 93021764, 27 05 1995

JP, A, 2000304542, 02 11 2000

RU, A, 93021764, 27 05 1995

(57) 1 Спосіб вимірювання кутової швидкості, за яким визначають переміщення чутливого елемента з промотором, який розміщують на об'єкті, кутову швидкість якого вимірюють, величину переміщення перетворюють в електричний сигнал, на основі якого формують компенсаційну силу, пропорційну кутовій швидкості вказаного об'єкта, і під впливом якої чутливий елемент повертається у зрівноважене положення, по величині якої визначають величину кутової швидкості, який відрізняється тим, що промотор підвішують на чутливому елементі так, що його вісь обертання перпендикулярна до осі, по якій підвіс згинається, та паралельна з віссю симетрії чутливого елемента, який переміщується на гнучкому підвісові в зустрічно направлених полях постійних магнітів

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що формування компенсаційної сили здійснюють шляхом реєстрації переміщення чутливого елемента у двох точках у формі двох високочастотних сигналів $u_1 = U_1 \sin \omega t$ та $u_2 = U_2 \sin \omega t$, де U_1 та U_2 - амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно в першій та в другій точках, ω - кругова частота живлення, а t - час, вказані сигнали перетворюють відповідно у сигнали $(U_1 - KU_2)$ та $-(U_2 - KU_1)$, де $K < 1$, після чого отримують сумарний сигнал у формі $U_1(1+K) - U_2(1+K)$, в якому амплітуда перетвореного сумарного електричного сигналу пропорційна величині відхилення інерційного елемента, а знак вказує на напрямок відхилення

3 Пристрій для вимірювання кутової швидкості, до

2

якого входять розміщений за допомогою пружного підвісу чутливий елемент з промотором, датчик положення, коло зворотного зв'язку та схема визначення показника кутової швидкості, який відрізняється тим, що чутливий елемент закріплено у корпусі за допомогою гнучкого підвісу, промотор встановлено на чутливому елементі так, що вісь його обертання направлена перпендикулярно до осі, по якій згинається підвіс, і паралельна з віссю симетрії чутливого елемента, компенсаційна котушка магнітоелектричного силового перетворювача кола зворотного зв'язку встановлена на чутливому елементі між розміщеними від неї із зазором плоскими постійними магнітами із зустрічною орієнтацією магнітних полів

4 Пристрій за п. 3, який відрізняється тим, що чутливий елемент закріплено на підвісові, який складається принаймні з пари пружких, гнучких пластинок, розміщених по різні боки від чутливого елемента, кожна з яких закріплена кінцями між двома паралельними пластинами, одна з яких прикріплена до корпусу датчика, а інша своїм протилежним кінцем - до чутливого елемента

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

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

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

8 Пристрій 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

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

10 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що коло зворотного зв'язку містить два активні випрямлячі, кожен з яких

(13) C2

(11) 61160

(19) UA

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 із 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 суматора

11 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що до схеми визначення показника кутової швидкості входять вимірювальний резистор, з'єднаний із входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході пристрою та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу на чутливий елемент

12 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що вказаний підвіс прикріплено до корпусу пристрою через перехідник з принаймні трьома пружкими балочками, розміщеними принаймні в двох паралельних з вимірювальною віссю пристрою площинах, протилежні кінці яких жорстко заземлені на корпус та на перехіднику, причому пружкість балочок перевищує пружкість підвісу чутливого елемента

13 Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, який відрізняється тим, що на корпусі пристрою

паралельно з вимірювальною віссю на рівні центра ваги чутливого елемента розміщені обмежувачі

14 Пристрій 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 пристрою - відповідний виступ

15 Пристрій 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, виконане заглиблення, а на корпусі пристрою - відповідний виступ

16 Блок обробки диференційних сигналів, який містить випрямляч та суматор, який відрізняється тим, що має два випрямлячі, кожен з яких має два входи для диференційних сигналів, прямий вхід першого випрямляча призначений для з'єднання з виводом від першого датчика диференційних сигналів, а інший вхід першого випрямляча - для з'єднання з виводом від другого датчика диференційних сигналів, прямий вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від другого датчика диференційних сигналів, а інший вхід другого випрямляча призначений для з'єднання з виводом від першого датчика диференційних сигналів, виводи від першого та другого випрямлячів з'єднані із входами суматора

17 Блок за п. 16, який відрізняється тим, що вихід суматора з'єднаний з підсилювачем

Винахід відноситься до вимірювальної техніки, зокрема до проскопічних датчиків кутової швидкості обертання об'єкта, і може бути використаний в різноманітних інерційних приладах та системах для автономного орієнтування та навігації транспортних засобів та об'єктів робототехніки, для топогеодезичного забезпечення будівництва тунелів, шахт, при укладці трубопроводів, бурінні свердловин, для оцінки стану тормозних систем різноманітних транспортних засобів, залізничних колій, при роботі вказаних приладів та систем в умовах з високим рівнем радіації, температури та перевантаження. Проте можливі сфери використання винаходу не обмежуються лише вказаними вище.

Серед відомих способів вимірювання кутової швидкості одними з кращих є такі, які здійснюються за допомогою компенсаційних пристроїв, як це описано, наприклад, у а с СРСР 1830484, G01P09/02, 1993 та а с СРСР 1793382, G01P9/02, 1993, перший з яких можна вважати найближчим аналогом.

Суть цього вимірювання полягає в тому, що коли об'єкт обертається, то на оснащений промотором чутливий елемент пристрою для вимірювання швидкості обертання, який встановлюють на вказаному об'єкті, починає діяти проскопічний момент, під впливом якого чутливий елемент відхиляється від свого урівноваженого положен-

ня. Це відхилення перетворюють в електричний сигнал, з якого формують компенсаційний сигнал, який подають до компенсаційного датчика сили, зусиллям якого компенсується проскопічний момент і чутливий елемент знову повертається в первісне положення. Сила струму в компенсаційному датчику пропорційна величині проскопічного моменту, а отже і кутовій швидкості об'єкта.

Потреба в нових способах вимірювання кутової швидкості актуальна, оскільки технічні параметри, умови застосування відомих способів вимірювання кутової швидкості, в тому числі способу-прототипу, залежать від багатьох факторів, пов'язаних, наприклад, із переміщенням чутливого елемента та фіксацією його відхилення, умовами формування компенсаційної сили та реалізації зворотного компенсаційного впливу на чутливий елемент тощо.

Існують різноманітні типи пристроїв для вимірювання кутової швидкості, які в залежності від структури бувають компенсаційні чи з прямим перетворювачем, а в залежності від типу підвісу чутливого елемента їх розрізняють як пристрої з електростатичним, безконтактним, поплавковим, торсійним підвісом тощо. Вони розрізняються також типами датчиків положення, видами вихідних сигналів, способами прикріплення та властивостями чутливого елемента.

В сучасних умовах широко використовуються

пристрої для вимірювання кутової швидкості компенсаційного типу Вони являють собою автоматичні компенсаційні системи із негативним зворотнім зв'язком, в яких, як відомо, різко зменшується похибка, пов'язана безпосередньо з чутливим елементом, підвищується лінійність перетворення, розширюється діапазон вимірювань

Приклади компенсаційних пристроїв для вимірювання кутової швидкості описані, наприклад, в ас СРСР 17993382, G01P9/02, 1993 та 1830484, G01P 09/02, 1993 Останній можна вважати за найближчий аналог Цей пристрій має розміщений у корпусі на підвісові промотор, датчик кута, підсилювач зворотного зв'язку та датчик моменту, вихід якого є виходом пристрою для вимірювання кутової швидкості Проскопичний момент, який виникає при обертанні пристрою і який викликає переміщення чутливого елемента, компенсується датчиком моменту, величина струму в якому пропорційна кутовій швидкості

Вказані вище відомі пристрої для вимірювання кутової швидкості мають свої переваги, але і певні технічні обмеження, що спонукає до розробки нових пристроїв для вимірювання параметрів руху, зокрема кутової швидкості

Пристрої для вимірювання кутової швидкості компенсаційним способом містять, як правило, блок для обробки електричних сигналів, зокрема такий, що перетворює величину переміщення чутливого елемента з розміщенням на ньому промотором в компенсаційний сигнал зворотного зв'язку, один з яких описаний, наприклад, в ас СРСР 1793382, G01P09/02, 1993, який можна вважати за прототип Він являє собою блок для обробки диференціальних сигналів, які поступають до нього від датчика кута Вказаний блок містить суматори, підсилювачі, блок формування вихідного сигналу Під час роботи пристрою для вимірювання кутової швидкості сигнали від першого та другого датчиків кута складаються у першому суматору Різниця між сигналами через підсилювач кола парування подається на другий і третій суматори, а додатки до вказаних сигналів подають на перший та другий датчики моментів, за допомогою яких вирівнюється рух першого та другого промоторів, тобто таким чином реалізується зворотний зв'язок

Задачею винаходу є новий точний спосіб вимірювання кутової швидкості у широкому діапазоні та в різноманітних умовах при перевантаженні, високій чи низькій температурі, при високих рівнях радіації

Іншою задачею винаходу є надійний, конструктивно простий, чутливий пристрій для вимірювання кутової швидкості, який з високою точністю здатний вимірювати кутову швидкість у широкому діапазоні, в тому числі при перевантаженні, високих рівнях радіації та в широкому діапазоні температур

Ще одна задача полягає в розробці блоку для обробки диференціальних сигналів для його використання в пристроях для вимірювання кутової швидкості, а також при вирішенні інших задач

Вказана задача втілена у способі вимірювання кутової швидкості, за яким визначають пере-

міщення чутливого елемента з промотором, який розміщують на об'єкті, кутову швидкість якого вимірюють, величину переміщення перетворюють в електричний сигнал, на основі якого формують компенсаційну силу, пропорційну кутовій швидкості вказаного об'єкта, і під впливом якої чутливий елемент повертається у врівноважене положення, по величині якої визначають величину кутової швидкості, у якого новим є те, що чутливий елемент переміщується на гнучкому підвісові в зустрічне напрямлених полях постійних магнітів, вісь обертання (підвішування) промотора направлена перпендикулярно до вісі, по якій згинається підвіс, та вздовж вісі симетрії чутливого елемента

Формування компенсаційної сили здійснюють шляхом реєстрації переміщення чутливого елемента у двох точках у формі двох високочастотних сигналів $u_1 = U_1 \sin \omega t$, та $u_2 = U_2 \sin \omega t$ де U_1 та U_2 - амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно в першій та другій точках, ω - кругова частота живлення, а t - час, вказані сигнали перетворюють відповідно у сигнали $(U_1 - KU_2)$ та $-(U_2 - KU_1)$, де $K < 1$, після чого отримують сумарний сигнал у формі $U_1(1+K) - U_2(1+K)$, в якому амплітуда перетвореного сумарного електричного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрямок відхилення

Інша задача винаходу втілена у пристрої для вимірювання кутової швидкості, до якого входять розміщений за допомогою пружкого підвісу чутливий елемент з розміщенням на ньому промотором, датчик положення, коло зворотного зв'язку та схема визначення показника кутової швидкості, у якому новим є те, що 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, а промотор встановлюють на чутливому елементі так, що вісь його обертання направлена перпендикулярно до вісі, по якій згинається підвіс, і паралельно з віссю симетрії чутливого елемента

Чутливий елемент з промотором закріплено у корпусі на підвісові, який складається принаймні з пари пружких, 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 корпусу чутливого елемента

Окрім того, для роботи в умовах з високим рівнем перевантаження підвіс чутливого елемента можна закріплювати в корпусі через перехідник з принаймні трьома пружкими балочками, розміщеними принаймні в двох паралельних з вимірювальною віссю пристрою площинах, протилежні кінці яких жорстко защемлені на корпусі та на перехіднику, причому пружкість балочок перевищує пружкість підвісу чутливого елемента

Для зменшення деформаційної сили, яка діє тиме на підвіс у напрямку вісі Y , на корпусі на рівні центра ваги чутливого елемента розміщені обмежувачі

Окрім того, для обмеження переміщення чут-

ливого елемента в площині XOZ застосовані обмежувачі вздовж вісі Z, для чого в чутливому елементі біля його центра маси зроблене вздовж вісі X (вздовж вісі симетрії чутливого елемента та перпендикулярно до вісі, по якій згинається підвіс) заглиблення, а на корпусі пристрою - відповідний виступ, а також вздовж вісі X, для чого у чутливому елементі біля його центра ваги вздовж вісі Z (вздовж вісі, по якій згинається підвіс, та перпендикулярно до вісі симетрії чутливого елемента) зроблене заглиблення, а на корпусі пристрою - відповідний виступ

Компенсаційна котушка електромагнітного силового перетворювача розміщена на чутливому елементі у заглибленні таким чином, що вона знаходиться на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента

Підвіс виготовлено з міцного та пружкого матеріалу, зокрема з рений-молибденового сплаву, а чутливий елемент виготовлено 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 випрямлячі, 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 із входом до буферного підсилювача, який має коло для встановлення необхідного масштабу сигналу на виході пристрою та коло для встановлення нульового сигналу на виході буферного підсилювача при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент

Ще одна задача втілена у блоці для обробки диференційних сигналів, який містить суматор, новим у якому є те, що він містить два випрямлячі, кожен з яких має два входи для диференційних сигналів, прямий вхід першого випрямляча призначений для з'єднання з виводом від першого датчика диференційних сигналів, а інший вхід першого випрямляча - для з'єднання з виводом від другого датчика диференційних сигналів, прямий вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від другого датчика диференційних сигналів, а інший вхід другого випрямляча призначений для з'єднання із виводом від першого датчика диференційних сигналів, виводи від першого та другого випрямлячів з'єднані із входами до суматора. При потребі, вихід суматора з'єднують з підсилювачем. При викори-

станні такого блоку обробки диференційних сигналів підвищується точність вимірювання показників руху та інших величин, оскільки воно здійснюється у відповідності з ефективною методикою обробки диференційних сигналів

На фіг 1 представлена у площині XOZ принципова конструктивна схема пристрою для вимірювання 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

Пристрій для вимірювання кутової швидкості (фіг 1, 2) складається з корпусу 1, в якому на гнучкому пружкому 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 вісь його обертання (вісь кінетичного моменту H) була перпендикулярна до вісі A-A, по якій згинається підвіс, та паралельна з віссю симетрії чутливого елемента (його поздовжній вісі B-B) (фіг 3). 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, у якості якого може бути використаний, наприклад, диференційний датчик положення Живлення вказаних котушок 6, 7 здійснюється за допомогою високочастотного генератора 8 (фіг 4). Вказані індукційні котушки краще розміщувати на рівні вільного кінця чутливого елемента 3.

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 електромагнітним 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. У цьому випадку розширюються можливі сфери його застосування.

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, причому вказану котушку 10 краще розміщувати в корпусі чутливого елемента у заглибленні, щоб вона знаходилася на одному рівні із зовнішньою поверхнею чутливого елемента. Подача живлення на індукційну обмотку 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 гнучких 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 чутливого елемента 3, а інша (ця паралельна пластина 11 на фігурах не показана) своїм протилежним кінцем - до корпусу 1 пристрою.

Вказаний підвіс 2 можна також прикріплювати до корпусу 1 пристрою через перехідник 12 з пружкими та гнучкими балочками 13, які розміщують паралельно до вимірювальної осі Y, причому їх жорстко прикріплюють одним кінцем до корпусу 1, а іншим - до перехідника 12. Ці балочки 13 розміщують принаймні в двох паралельних площинах, а їх кількість має бути не меншою за три (на фіг 1 показані кінці 14 від двох балочок 13, а третю не видно на фіг 1 через чутливий елемент 3). Пружність балочок 13 повинна перевищувати пружність підвісу 2 чутливого елемента 3. Таке розміщення та властивості балочок 13 дозволятимуть перехіднику 12 переміщуватися в площині XOZ, перпендикулярній до вимірювальної осі, 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 застосовані обмежувачі вздовж осі Z, для чого у чутливому елементі біля його центра ваги та вздовж осі X пристрою (паралельно з віссю симетрії Б-Б чутливого елемента та перпендикулярно до осі, по якій згинається підвіс) зроблене заглиблення 15, а на корпусі пристрою - відповідний виступ 16, та вздовж осі X пристрою, для чого біля центра ваги чутливого елемента 3 перпендикулярно до осі симетрії Б-Б чутливого елемента, (його поздовжньої осі) та паралельно з віссю, по якій згинається підвіс, зроблене вздовж осі Z пристрою заглиблення 17, а на корпусі пристрою - відповідний виступ 18.

Окрім того, для зменшення деформаційної сили, яка діятиме на підвіс 2 вздовж осі Y, на корпусі 1 на рівні центра ваги чутливого елемента 3 розміщені обмежувачі 19, які жорстко закріплюються на корпусі після встановлення необхідного зазору між вказаними обмежувачами 19 та чутливим елементом 3.

Підвіс 2 має таку особливість, що пружні елементи підвісу 2 (одна пара пластинок 2 чи набір пластинок 2) мають властивість згинатися, тобто підвіс "працює" на згинання. Гнучкі пластинки 2 виготовляють з матеріалів, яким також властиві високі міцність та пружність. Це може бути, наприклад, рений-молібденовий сплав. Інша особливість підвісу полягає в тому, що довжина кожної з пластинок достатньо мала у порівнянні з її шириною. Наприклад, довжина, ширина та товщина кожної пластинки 2 підвісу можуть співвідноситися між собою як 5:15:1 відповідно. Це істотно підвищує власну частоту коливань підвісу та покращує динамічні властивості пристрою.

Постійні магніти 5 краще виготовляти з 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 диференціальних сигналів, зокрема він може складатися з двох випрямлячів 20 та 21, які зроблені по схемі активного випрямлення високочастотного електричного сигналу. У кожного з випрямлячів 20 і 21 є два відповідних входи. Прямий вхід - для з'єднання із виходом від однієї котушки індуктивності диференційного датчика положення чутливого елемента, а інший - для з'єднання з іншою котушкою цього ж датчика положення. Зокрема, прямий вхід випрямляча 20 з'єднаний із виводом від котушки 6 датчика положення, а інший - з виводом від котушки 7. 1 навпаки, прямий вхід до випрямляча 21 з'єднаний з виводом від котушки 7 датчика положення, а інший - з виводом від котушки 6 того ж датчика положення чутливого елемента. Амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 20 залежить не лише від амплітуди сигналу від котушки 6, але і від різниці між амплітудами сигналів від котушок 6 та 7, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 21 залежатиме від амплітуди сигналу від котушки 7 та від різниці між амплітудами сигналів з котушок 7 та 6. Виводи активних випрямлячів 20 та 21 пов'язані зі входами до суматора 22, на виході якого амплітуда електричного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрям відхилення. При потребі, вивід суматора 22 з'єднують зі входом до підсилювача 23.

Навантаженням суматора 22 - підсилювача 23 є послідовно з'єднані компенсаційна котушка 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 24 з паралельно увімкнутим конденсатором 25. Стала часу RC-копа, до якого входять паралельно увімкнуті резистор 24 та конденсатор 25, дорівнює $T=RC$. Стала

часу T відповідає частоті $f = \frac{1}{2\pi T}$. Частота f

відповідає верхній частоті вимірюваних кутових швидкостей. Вимірювальний резистор 24 з'єднаний зі входом до буферного підсилювача 26, який має коло для встановлення на виході пристрою для вимірювання кутової швидкості необхідного масштабу сигналу за допомогою резистора 27 ($R_{масшт}$) та коло для встановлення нульового сигналу коригуючого резистора 28 ($R_{кориг}$) на виході буферного підсилювача 26 при відсутності впливу кутової швидкості обертання на чутливий елемент 3. Живлення на резистор 28 подається від високостабільного джерела струму (на фігурах не показано).

Далі подається опис вимірювання кутової швидкості за допомогою заявленого пристрою.

Для більшої наглядності на фіг 3 показана пов'язана з об'єктом права система координат OXYZ, на якій точка O - це центр ваги чутливого елемента 3, $\vec{\Omega}$ - абсолютна кутова швидкість об'єкта, вісь обертання промотора (вісь кінетичного моменту \vec{H}) направлена вздовж осі OX, вісь A-A згинання підвісу направлена вздовж осі OZ, а вимірювальною є вісь OY. Після виходу промотора 4 на робочий режим (пристрій для розгонки промотора на фігурах не показано) подають живлення до відповідних блоків пристрою для вимі-

рування кутової швидкості. При обертанні об'єкта, кутову швидкість якого вимірюють та на якому встановлено пристрій для її вимірювання, виникає момент напрямку M_n , який буде прагнути сумістити вектор кінетичного моменту \vec{H} з складовою абсолютної кутової швидкості $\vec{\Omega}_y$ об'єкта по найкоротшій відстані $M_n = \vec{H} \times \vec{\Omega}_y$ (Воронков Н.Н., Ашимов Н.М. Гироскопическое ориентирование. Москва, Недра, 1973, с.35). Вектор направляющего момента M_n при цьому збігатиметься з позитивним напрямком вісі OZ. Це означає, що під впливом направляющего моменту 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, 7 надходить від високочастотного 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 і в зустрічне направленої полю постійних магнітів плоскої індукційної компенсаційної котушки 10 магнітоелектричного силового перетворювача для здійснення зворотного зв'язку. Реалізація зворотного зв'язку полягає в тому, щоб повертати чутливий елемент у первісне положення і втримувати його у стані рівноваги відносно корпусу, для чого формується компенсаційна сила, за допомогою якої розвивається момент протидії $M_{вм}$, який дорівнює моменту направляющего M_n , але має протилежний знак.

Додаткового підвищення точності вимірювання та збільшення чутливості диференційного датчика положення можна досягти завдяки особливостям обробки диференціальних сигналів за допомогою схеми активних випрямлячів 20 та 21, які працюють таким чином, що амплітуда електричного сигналу на виході з випрямляча 20 залежить не лише від амплітуди сигналу з котушки 6, але і від різниці між амплітудами сигналів з котушок 6 та 7, а амплітуда сигналу на виході з випрямляча 21 залежить від амплітуди сигналу з котушки 7 та від різниці між амплітудами сигналів з котушок 7 та 6. Для цього на прямий вхід випрямляча 20 поступає від котушки 6 високочастотний сигнал у формі $u_1 = U_1 \sin \omega t$, а на інший вхід випрямляча 20 - сигнал від котушки 7 у формі $u_2 = U_2 \sin \omega t$. На виході випрямляча 20 буде сигнал у формі $(U_1 - KU_2)$ де U_1 та U_2 - амплітуди високочастотних коливань сигналів відповідно від котушок 6 та 7, ω - кругова частота генератора для живлення котушок 6 та 7 диференційного датчика положення, t - час, $K < 1$. На прямий вхід випрямляча 21 поступає з виходу котушки 7 високочас-

тотний сигнал у формі $u_2 = U_2 \sin \omega t$, а на інший вхід випрямляча 21 - з виходу котушки 6 у формі $u_1 = U_1 \sin \omega t$. На виході випрямляча 21 виникає сигнал у формі $-(U_2 - KU_1)$.

Сигнали з виходів випрямлячів 20 та 21 поступають на вхід суматора 22, де вони складаються і набувають форму $U_1(1+K) - U_2(1+K)$. При потребі цей сигнал підсилюють, для чого вивід з суматора 22 з'єднують зі входом до підсилювача 23, на виході з якого сигнал має форму $A[U_1(1+K) - U_2(1+K)]$, де A - коефіцієнт підсилення, який визначається параметрами магнітів, компенсаційної котушки магнітосилового перетворювача тощо. Амплітуда вказаного сигналу пропорційна величині відхилення чутливого елемента, а знак вказує на напрямок цього відхилення.

Сигнал з виходу суматора 22 чи підсилювача 23 подається на послідовно з'єднані компенсаційну котушку 10 магнітоелектричного силового перетворювача та вимірювальний резистор 24 з паралельно увімкнутим конденсатором 25. В результаті взаємодії зустрічне направлених полів постійних магнітів 5, що на корпусі 1, та електромагнітного поля компенсаційної котушки 10 на чутливому елементі 3, здійснюватиметься відповідний вплив на чутливий елемент 3. Величина падіння напруги на вимірювальному резисторі 24 пропорційна величині струму, який проходить через компенсаційну котушку 10 силового перетворювача, а вона пропорційна величині компенсаційної сили, яка повертатиме чутливий елемент 3 в узгоджене відносно корпусу 1 первісне нульове положення, а отже буде пропорційна кутовій швидкості.

Сигнал з вимірювального резистора 24 подається на вхід буферного підсилювача 26, який має контур з резистором 27, за допомогою якого встановлюють необхідний масштаб сигналу на виході пристрою для вимірювання прискорення. Завдяки контуру з резистором 28 встановлюють нульовий сигнал на виході буферного підсилювача 26 при відсутності впливу прискорення на чутливий елемент 3. На виході буферного підсилювача 26 одержують сигнал у формі $U_{вих} = s a$, де s - коефіцієнт крутизни вказаного пристрою, а a - величина кутової швидкості обертання, яка вимірюється пристроєм.

Робота дослідних зразків, в яких втілений описаний винахід, підтверджує їх високі техніко-економічні показники. Оскільки конструктивно пристрої не складні, вартість їх помірна. Діапазон кутової швидкості складає від ± 10 до ± 1000 град/сек, динамічний діапазон - від 10^4 до 10^7 , порогова чутливість 0,01 град/годину, "уход" $< 0,3$ - $< 1,5$ град/годину, власна частота > 80 Гц. Ресурс роботи складає 5000 годин. Пристрої зберігають працездатність після впливу поодиноких ударів з переваженнями до 200д, а також при роботі в умовах з високим рівнем радіації та в діапазоні температур від -50° до $+70^\circ$ C.

