

Винахід відноситься до галузі приладобудування і вимірювальної техніки і може бути використаним у вимірювальних, інформаційно-командних і навігаційних системах високоманеврених рухливих об'єктів для одержання інформації про кутову швидкість об'єкта щодо однієї осі і кутового прискорення щодо осі, ортогональної першій.

Відома схема гіроскопічного датчика кутових швидкостей з частотним виходом, що містить корпус, гіромотор із твердотільним швидкообертним ротором як носія кінетичного моменту, раму, що несе гіромотор і підвішену в корпусі за допомогою «сухих» опор одного з відомих типів, датчик вихідної інформації, що є і датчиком моменту, виконаний у виді струнного частотного диференціального перетворювача, розтяжки якого з'єднують своїми кінцями раму і корпус датчика [Браславський Д. А., Логунов С. С., Пельпор Д. С. Авіаційні прилади й автомати, - М.: Машинобудування с.95, мал.5.14в].

Такий датчик кутових швидкостей характеризується типовими недоліками приладів зі звичайним (непоплашковим) підвісом рами: наявність значної зони нечутливості статичної характеристики через момент сухого тертя в опорах рами; погіршеність, викликана переносним кутовим прискоренням корпуса щодо осі підвісу рами; погіршеність за рахунок інерційного моменту відцентрових сил, породжуваних вимірюваною і перехресною кутовими швидкостями; низькі вібраційна й ударна міцність і стійкість; значна погіршеність, викликана лінійними прискореннями і перевантаженнями корпуса; складність забезпечення необхідного ступеня демпфірування коливань рами щодо її осі підвісу.

Відомий аналогічний пристрій - двокомпонентний гіроскопічний вимірник кутових швидкостей з частотним виходом, що містить корпус, гіромотор із твердотільним швидкообертним ротором у кулькових опорах як носія кінетичного моменту, раму, що несе гіромотор і виконану у виді кожуха гіромотора, підвішену в корпусі на чотирьох рівнобжних пружних стрічкових розтяжках струнного частотного диференціального перетворювача, розташованих попарно у взаємно перпендикулярних площинах, що проходять через центр гіровузла паралельно осі обертання його ротора [Авторське свідоцтво СРСР №322720 «Вимірник кутових швидкостей», кл. G01p3/70, 1972р.].

Такому вимірнику притаманні наступні недоліки: погіршеності, викликані переносними кутовими прискореннями корпуса відносно «вихідних» осей вимірника (обох поперечних осей гіромотора) і інерційними моментами відцентрових сил, породжуваних переносними кутовими швидкостями корпуса; винятково низькі вібраційна й ударна міцність і стійкість; значні погіршеності, викликані вібраціями, лінійними прискореннями і перевантаженнями корпуса; висока складність забезпечення необхідного ступеня демпфірування коливань рами щодо всіх трьох осей, зв'язаних з рамою (рухома частина вимірника характеризується шістьма ступенями волі); конструктивна і технологічна складність виконання підвісу рами з використанням пружних розтяжок струнного частотного диференціального перетворювача; дуже низьке значення інерційних сил, що виникають при русі корпуса з лінійними прискореннями, що відповідають межі міцності пружних розтяжок струнного частотного диференціального перетворювача; висока складність обробки і виділення корисної інформації внаслідок складної динаміки вимірника (перехресні взаємозв'язки по кутових швидкостях і прискоренням); погіршеності, обумовлені кінематичними параметрами руху корпуса при зсуві центра мас (центра підвісу) рами від вихідного положення в процесі вимірів; вплив пружності підвісу рами на частоту власних коливань рухливої частини приладу і небезпека виникнення резонансних явищ при наявності вібрацій корпуса.

Відзначені недоліки розглянутих схем датчиків обумовлюють істотне зниження статичної і динамічної точності вимірів кутових швидкостей, що абсолютно виключає можливість використання подібних приладів у прецизійних інформаційно-вимірювальних і навігаційних системах (зокрема - у безкарданних інерціальних системах навігації (БІСН)) високоманеврених рухомих об'єктів при наявності пружних коливань елементів конструкції (чи для виміру їхніх параметрів), а також - для виміру малих кутових швидкостей.

Відомий датчик кутових швидкостей, що містить корпус із системою термостатування і сильфоном, цілком заповнений рідиною, усередині якого розміщена в торсійних опорах поплавок камера з гіромотором, збалансована щодо осі підвісу і знаходиться в рідині в стані нейтральної плавучості, датчик вихідної інформації, датчик моменту [Браславський Д.А., Логунов С.С., Пельпор Д.С. Авіаційні прилади й автомати, - М.: Машинобудування с.264-267].

Такому вимірнику притаманні наступні недоліки:

а) зниження точності вимірів унаслідок:

- нелінійності статичної характеристики датчика, обумовленою залежністю гіроскопічного моменту від кута відхилення рухомої частини (вектора кінетичного моменту) від вихідного положення в процесі вимірів;
- наявності кінематичної погіршеності від перехресної кутової швидкості при відхиленні рухомої частини (вектора кінетичного моменту) від вихідного положення в процесі вимірів;
- наявності погіршеності від перехресного кутового прискорення корпуса щодо осі підвісу поплавка;
- наявності погіршеності за рахунок інерційного моменту відцентрових сил, породжуваних вимірюваною і перехресною кутовими швидкостями;

б) порівняно низька власна частота датчика;

в) аналогова форма вихідного сигналу, тобто складність узгодження з цифровими обчислювачами.

Найбільш близьким по технічній сутності й ефекту, що досягається, до запропонованого є датчик кутових швидкостей, що складається з вимірника кутових швидкостей, який містить гіромотор із твердотільним швидкообертним ротором як носія кінетичного моменту, і вимірника кутових прискорень, що представляє собою збалансовану щодо осі підвісу інерційну масу, які виконані у виді двох поплавкових камер із двома датчиками вихідної інформації і датчиками моменту, розміщеними усередині відповідної поплавної камери і виконаними у виді двох ідентичних струнних диференціальних перетворювачів, що складаються з підключених до автогенераторів двох пружних стрічкових розтяжок, розміщених у полі

постійного магніту, та схеми обробки інформації [Авторське свідоцтво СРСР №1145748 «Датчик кутових швидкостей», кл. G01C19/42, 1984р.]. Недоліками відомої конструкції є:

- 1) складність виконання і монтажу трубчатих торсіонів;
- 2) неможливість точного досягнення силового балансу багатоточкового підвісу (торсіони-розтяжки) поплавків: зниження точності через залишкові тяження і незбалансованість;
- 3) зниження чутливості приладу через додаткову твердість трубчатого торсіону підвісу;
- 4) ускладнення алгоритму формування вихідного сигналу і конструкції схеми попередньої обробки інформації через наявність у ній зворотного зв'язку.

Поставлено задачу - підвищення чутливості, точності і спрощення схеми обробки інформації.

Поставлена задача розв'язується тим, що у датчик кутових швидкостей, що складається з вимірника кутових швидкостей і вимірника кутових прискорень, виконаних у виді двох поплавкових камер із двома датчиками вихідної інформації і датчиками моменту, що розміщені усередині відповідної поплавної камери і кожний з яких представлений у виді двох ідентичних струнних частотних перетворювачів, що складаються з підключених до автогенераторів двох пружних стрічкових розтяжок, розміщених у полі постійного магніту, та схеми обробки інформації, згідно з винаходом введені елементи закріплення розтяжок на корпусі у виді твердих стрижнів і пружних мембран, що ізолюють внутрішню порожнину, у якій розміщені датчики вихідної інформації і протидіючого моменту, від рідини, у яку поміщені поплавки, а розтяжки являють собою основні опори обох поплавкових камер з однієї їхньої сторони. Поставлена задача досягається також тим, що в схему обробки інформації датчика кутових швидкостей введені вісім ідентичних каналів, кожний з яких складається з автогенератора, блоку узгодження, пристрою керування перетворювачем, перетворювача кількості імпульсів у код і вихідного буферного регістру, причому вихід автогенератора, що включає пружну розтяжку як чуттєвий елемент, зв'язаний із входом блоку узгодження, послідовно з'єднаного з пристроєм керування перетворювачем, один вихід якого підключений до першого входу перетворювача кількості імпульсів у код, а другий вихід - до першого керуючого входу вихідного буферного регістру, з інформаційним входом якого з'єднаний вихід перетворювача кількості імпульсів у код, причому другий вхід перетворювача кількості імпульсів у код зв'язаний з виходом генератора заповнюючі імпульсів, а вихід вихідного буферного регістру з'єднаний з відповідним портом мікроконтролера. Поставлена задача досягається також тим, що в схему обробки інформації датчика кутових швидкостей уведений мікроконтролер, кожна вихідна лінія одного з паралельних портів вводу-виводу якого з'єднана з другим керуючим входом вихідного буферного регістру кожного з восьми каналів, а вихід вихідного буферного регістру кожного каналу зв'язаний паралельно зі входом другого паралельного порту вводу-виводу, а ще три порти мікроконтролера використані для видачі вихідних сигналів, що відповідають нескоректованій кутовій швидкості, скоректованій кутовій швидкості і кутовому прискоренню.

На фіг.1 приведена спрощена конструктивна схема датчика кутових швидкостей,

на фіг.2 - його переріз по А-А і Б-Б,

на фіг.3 - блок-схема попередньої обробки інформації струнних частотних перетворювачів датчика,

на фіг.4 - графіки вхідних і вихідних сигналів блоків схеми попередньої обробки інформації,

на фіг.5 - схема мікроконтролера,

на фіг.6 - статичні характеристики запропонованого датчика кутових швидкостей (а) і датчика - прототипу (б).

Датчик кутових швидкостей (фіг.1) містить замкнутий герметичний корпус, що складається з конструктивних елементів 1, 2, 3, 4. Елемент 2 корпусу містить перегородку з віссю в центрі неї. Сполучені порожнини, що утворилися усередині корпусу, цілком заповнені важкою ізотропною рідиною 5. У корпусі в першій порожнині розташований вимірник кутових швидкостей, у другій порожнині - вимірник кутових прискорень. Вимірник кутових швидкостей містить гіромотор 6 із твердотільним швидкообертотним ротором як носія кінетичного моменту \vec{H} , підвішеним за допомогою опор 7 у рамі 8 гіроскопа, що є конструктивним елементом першої герметичної поплавкової камери 9. Поплавкова камера 9 разом з елементами, що знаходяться усередині неї, утворює поплавок вузол вимірника кутових швидкостей, збалансований щодо осі підвісу (подовжньої осі X). Інерційна маса вимірника кутових прискорень являє собою герметичну збалансовану щодо осі підвісу (подовжньої осі X) другу поплавок камеру 10, разом з елементами, розташованими усередині неї, що утворює поплавок вузол вимірника кутових прискорень. Для забезпечення необхідної величини моменту інерції поплавок вузла вимірника кутових прискорень щодо осі X у корпусі поплавкової камери 10 розташована вставка 11 з матеріалу високої щільності. Поплавкові вузли обох вимірників знаходяться в стані нейтральної плавучості в рідині 5 за рахунок вибору відповідної її щільності. Як опори поплавкових камер 9 і 10 із зовнішньої сторони використовуються торсіони малої твердості на крутіння круглого чи хрестоподібного перетину 12 і 13.

Поплавкові вузли вимірників виконані однакової щільності, їхні моменти інерції щодо осей підвісу рівні. За рахунок ідентичності конструкції, характеристик і розташування торсіонів 12, 13 забезпечується рівність коефіцієнтів пружності підвісу поплавкових вузлів вимірників; вибір величин зазорів між поплавковими камерами 9 і 10 і корпусом датчика визначає рівність коефіцієнтів демпфірування коливань поплавкових вузлів.

Осі підвісу поплавкових вузлів вимірників і вісь чутливості вимірника кутових прискорень збігається з віссю Y, вектор кінетичного моменту \vec{H} гіромотора сполучений з віссю Z. Вимірник кутових швидкостей і вимірник кутових прискорень містять ідентичні по конструкції і характеристикам датчики вихідної інформації, що є одночасно датчиками протидіючих моментів, що розміщені у внутрішніх герметичних і вакуумованих порожнинах 14 і 15 поплавкових камер 9 і 10. Порожнина 14 не сполучається з внутрішнім

обсягом поплавкової камери 9, де розташований гіромотор 6. Датчик вихідної інформації і протидіючого моменту кожного вимірника (фіг.2) виконаний у виді двох ідентичних струнних частотних перетворювачів і містить пружні стрічкові розтяжки 16(20), 17(21), 18(22), 19(23) пристрою знімання вихідного сигналу, збудники коливальні (магніти) 24(28), 25(29), 26(30), 27(31) і автогенератори 32(36), 33(37), 34(38), 35(39). Елементи 16, 17, 24, 25, 32, 33 і 18, 19, 26, 27, 34, 35 утворюють відповідно перший і другий струнні частотні перетворювачі вимірника кутових швидкостей, елементи 20, 21, 28, 29, 36, 37 і 22, 23, 30, 31, 38, 39 - перший і другий струнні частотні перетворювачі вимірника кутових прискорень. Пружні стрічкові розтяжки 16 19 одним своїм кінцем кріпляться на корпусі поплавка вимірника кутових швидкостей, а стрічкові розтяжки 20 23 - на корпусі поплавка вимірника кутових прискорень. Другим кінцем розтяжки 16 19 (20 23) нерухомо закріплені на корпусі приладу за допомогою твердих стрижнів 40(44), 41(45), 42(46), 43(47) і пружних мембран 48(52), 49(53), 50(54), 51(55), що ізолюють внутрішні порожнини 14 і 15 від рідини 5, у яку поміщені поплавки. Стрічкові розтяжки 16÷19 (20÷23) з'єднуються з твердими стрижнями 40÷43 (44÷47) за допомогою вузлів кріплення 56÷59 (60÷63) і являють собою основні опори поплавкових камер 9 і 10 із внутрішньої сторони.

Усі пружні стрічкові розтяжки 16÷23 у початковому стані (у статичному режимі) мають попередній (початковий) натяг, при цьому власні частоти поперечних коливань розтяжок 16-17, 18-19, 20-21, 22-23, що входять у кожен частотний перетворювач, збігаються.

Схема попередньої обробки інформації датчика (фіг.3) включає вісім ідентичних каналів (сукупностей блоків), кожен з яких служить для обробки інформації відповідного струнного частотного перетворювача: перший і другий канали - першого струнного частотного перетворювача вимірника кутових швидкостей; третій і четвертий канали - другого струнного частотного перетворювача вимірника кутових швидкостей;

п'ятий і шостий канали - першого струнного частотного перетворювача вимірника кутових прискорень;

сьомий і восьмий канали - другого струнного частотного перетворювача вимірника кутових прискорень.

Для підтримки поперечних коливань стрічкових розтяжок 16÷23, розміщених у магнітному полі збудників коливань (постійних магнітів) 24÷31 симетрично щодо двох взаємноперпендикулярних осей, служать автогенератори 32÷39. Обробка вихідних сигналів автогенераторів 32÷39, що містять корисну інформацію, здійснюється за допомогою блоків узгодження 64 71, пристроями керування перетворювачем 72 79 і перетворювачами частоти в код 80 87 за допомогою генератора заповнюючих імпульсів 88. Вихідна інформація зберігається у вихідних буферних регістрах 89 96 перед подальшим перетворенням у мікроконтролері 97.

Схема попередньої обробки інформації датчика реалізується на базі частотно-неперервних і дискретних (цифрових) функціональних елементів.

На фіг.4 приведені графіки вхідних і вихідних сигналів блоків схеми обробки інформації.

Як обчислювальний пристрій можна використовувати мікроконтролер (фіг.5) сімейства MCS-51 типу 8XC51GB [Бродін В.Б., Шагурін Й.Й. Мікроконтролери. Архітектура, програмування, інтерфейс. - М.: Видавництво ЭКОМ, 1999], однією з особливостей якого є збільшення до шести паралельних портів вводу-виводу.

Лінії 98÷105 першого порту P0 106 використовуються для подачі унітарного коду на входи 98÷105 вихідних буферних регістрів. Зчитування інформації здійснюється з відповідного регістра через другий порт P1 107, до входу якого паралельно підключені виходи 108÷115 вихідних регістрів 89÷96. Порти P2 116, P3 117, P4 118 використані для видачі вихідних сигналів 119, 120, 121 відповідно. Сигнал 119 відповідає нескоректованій кутовій швидкості, 120 - кутовому прискоренню і 121 - скоректованій кутовій швидкості.

З метою підтримки постійної температури рідини 5, елементів поплавкових вузлів і струнних частотних перетворювачів обох вимірників у корпусі встановлена система термостатування 122. Для компенсації температурних змін обсягу рідини 6 використовується сифон 123. Струмопідводи поплавкових вузлів на схемі не показані.

Рідинний підвіс забезпечує необхідне демпфірування коливань поплавкових вузлів, міцність і вібростійкість датчика, стійкість його до ударів, тряски і перевантаженням. Сполучення центра мас і центра тиску кожного поплавкового вузла забезпечує нечутливість до позірних прискорень корпусу.

Датчик кутових швидкостей працює таким чином.

Просторовий кутовий рух корпусу датчика характеризується проекціями ω_x , ω_y , ω_z вектора - абсолютної кутової швидкості на осі X, Y, Z, жорстко зв'язані з корпусом (див. фіг.1 і 2). Вважаємо, що центр мас і центр тиску рухомої частини - поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей збігаються в точці O (у центрі підвісу гіровузла), тензор інерції рухомої частини - діагональний і постійний у часі.

З огляду на те, що вимірюваною є проекція ω_y вектора $\vec{\omega}$ на вісь чутливості Y, а також, що швидкість обертання ротора гіромотора 6 постійна ($H = \text{Const}$), динаміку гіроскопічного вимірника кутових швидкостей (рухомої частини - поплавкового вузла) щодо осі X можна описати наступним диференціальним рівнянням:

$$I_x \ddot{\beta} + K_\beta \dot{\beta} + K_y \beta = H \omega_y \cos \beta - H \omega_z \sin \beta + I_x \dot{\omega}_x - (I_z - I_y) \left(\omega_y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_y \omega_z \cos 2\beta \right) \quad (1)$$

де I_x , I_y , I_z - моменти інерції рухомої частини - поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей щодо осей X, Y, Z;

K_{δ} - коефіцієнт демпфірування поплавкового вузла в рідині 6 (питомий демпфірувальний момент);

K_y - коефіцієнт пружності стрічкових розтяжок 16-19 датчика вихідної інформації і протидіючого моменту вимірника кутових швидкостей;

H - кінетичний момент гіромотора 6;

β - кут повороту рухомої частини - поплавкового вузла щодо осі X .

Рівняння (1) являє собою суму наступних моментів: $I_X \ddot{\beta}$ - інерційний момент; $K_{\delta} \dot{\beta}$ - демпфірувальний момент, що розвивається демпфером - поверхнею поплавкової камери 9 у рідині 5; $K_y \beta$ - протидіючий момент, що розвивається пружними елементами - розтяжками 16 19 датчика вихідної інформації і протидіючого моменту; $(H\omega_Y \cos \beta - H\omega_Z \sin \beta)$ - гіроскопічний момент; $I_X \dot{\omega}_X$ - інерційний момент за рахунок переносного кутового прискорення; $(I_Z - I_Y)(\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta)$ - інерційний момент відцентрових сил.

У праву частину рівняння (1) не входить вираження для моменту сил сухого тертя. Відсутність цього моменту щодо осі X підвісу рухомої частини справедливо для використовуваних опор поплавкової камери 9 і датчика вихідної інформації і протидіючого моменту.

Розглядаючи для простоти сталий режим, можна показати відповідно до рівняння (1), що до поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей прикладений активний момент (включаючи гіроскопічний)

$$M = H\omega_Y \cos \beta - H\omega_Z \sin \beta + I_X \dot{\omega}_X - (I_Z - I_Y)(\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta) \quad (2)$$

унаслідок чого останній відхиляється щодо осі X підвісу на деякий кут β , прагнучи сполучити найкоротшим шляхом вектор \vec{H} кінетичного моменту гіромотору 6 з віссю Y , що містить ω_Y . Повороту поплавкового вузла протидіють стрічкові пружні розтяжки 16÷19 датчика вихідної інформації і протидіючого моменту.

Відхилення поплавкового вузла щодо осі X під дією моменту M на кут β викликає деформацію розтяжок 16÷19 і як наслідок цього - виникнення протидіючого моменту $M_{\text{пр}} = K_y \beta$, рівного активному моменту M по величині і протилежно йому спрямованого. Сталий режим характеризується рівністю цих моментів:

$$M_{\text{пр}} = M \quad (3)$$

тобто величина моменту, що розвивається розтяжками 16 19, визначається співвідношенням (2).

Рівністю моментів (3) при відомій величині коефіцієнта пружності K_y визначається кут повороту рухомої частини вимірника.

Момент M , прикладений з боку поплавкового вузла до датчика вихідної інформації і протидіючого моменту, викликає виникнення в стрічкових пружних розтяжках 16÷19 додаткових зусиль, тобто перерозподіл сил попереднього (початкового) їхнього натягу. При цьому в залежності від напрямку моменту M в двох з чотирьох розтяжок 16÷19 виникає розтяжне зусилля, у двох інших - стискаюче. Для означеності вважаємо, що розтяжки 16 і 19 стискаються, 17 і 18 - розтягуються:

$$\begin{aligned} T_{16} &= T_{19} = T_0 - \Delta T, \\ T_{17} &= T_{18} = T_0 + \Delta T, \end{aligned} \quad (4)$$

де T_{16} , T_{17} , T_{18} , T_{19} - сила натягу розтяжок 16, 17, 18 і 19 відповідно в процесі виміру кутових швидкостей;

T_0 - сила попереднього (початкового) натягу кожної з розтяжок 16÷19 і 20÷23;

ΔT - додаткове зусилля, що виникає в кожній з розтяжок 16÷19 у процесі вимірів.

Визначимо значення ΔT (див. фіг.2). Величина цієї сили за інших рівних умов залежить від розташування розтяжок 16÷19 щодо осі Y , тобто від величини кута α' нахилу осі розтяжки до осі Y і від радіуса точки закріплення пружної розтяжки на корпусі поплавка вимірника кутових швидкостей.

У загальному випадку при $\alpha'' \neq \frac{\pi}{2}$ справедливо співвідношення

$$M = \Delta R_0 4F \quad (5)$$

де R_0 - радіус точки закріплення пружної розтяжки на корпусі поплавкової камери 10;

$4F$ - сила, що створює на плечі R_0 момент M .

Сила F являє собою проекцію додаткового зусилля ΔT , що виникає в одній розтяжці при додатку

моменту M до датчика вихідної інформації і протидіючого моменту з боку поплавкового вузла, на нормаль до радіуса, що проходить через точку закріплення пружної розтяжки на поплавковій камері 9. Тому

$$\cos \alpha = \frac{F}{\Delta T} = \frac{M}{4R_0 \Delta T}. \quad (6)$$

При фіксованих значеннях R_0 і r величина кута α визначиться так:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{r \sin \alpha''}{R_0}\right) \quad (7)$$

Використовуючи це співвідношення, на основі рівності (6) одержимо:

$$\cos\left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{r \sin \alpha''}{R_0}\right)\right] = \frac{M}{4R_0 \Delta T} \quad (8)$$

Чи

$$\sin \alpha'' = \frac{M}{4 \Delta T r} \quad \alpha'' = \arcsin \frac{M}{4 \Delta T r} \quad (9)$$

Відповідно до (9) знайдемо

$$\Delta T = \frac{M}{4r \sin \alpha''} \quad (10)$$

У тому випадку, якщо як один з аргументів ΔT розглядати кут α' нахилу радіуса точки закріплення пружної розтяжки на поплавковій камері 9 до осі Y , вираження буде іншим. Залежність між кутами α' і α'' така:

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{R_0 \sin \alpha'}{r - R_0 \cos \alpha'} \quad (11)$$

Використовуючи цю рівність, визначимо

$$\alpha = \alpha' + \alpha'' - \frac{\pi}{2} = \alpha' + \operatorname{arctg} \frac{R_0 \sin \alpha'}{r - R_0 \cos \alpha'} - \frac{\pi}{2} \quad (12)$$

З огляду на останнє співвідношення, на основі рівності (6) одержимо:

$$\cos\left[\alpha' + \operatorname{arctg} \frac{R_0 \sin \alpha'}{r - R_0 \cos \alpha'} - \frac{\pi}{2}\right] = \frac{M}{4R_0 \Delta T} \quad \text{чи} \quad (13)$$

$$\sin\left(\alpha' + \operatorname{arctg} \frac{R_0 \sin \alpha'}{r - R_0 \cos \alpha'}\right) = \frac{M}{4R_0 \Delta T}$$

Ліва частина цієї рівності може бути перетворена до виду:

$$\frac{r \sin \alpha'}{\sqrt{r^2 + R_0^2 - 2rR_0 \cos \alpha'}} = \frac{M}{4R_0 \Delta T} \quad (14)$$

Звідси випливає:

$$\Delta T = \frac{M}{\frac{4R_0 r \sin \alpha'}{\sqrt{r^2 + R_0^2 - 2rR_0 \cos \alpha'}}} \quad (15)$$

Отримані вираження (10) і (15) визначають залежність додаткового зусилля ΔT у розтяжці від конструктивних параметрів датчика вихідної інформації і протидіючого моменту. Ці вираження еквівалентні і взаємозамінні, тому в подальших викладеннях будемо їх представляти єдиною формулою:

$$\Delta T = \frac{M}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad (16)$$

де $\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')$ - функція від конструктивних (геометричних) параметрів датчика,

$$\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'') = \sin \alpha'' = \frac{R_0 \sin \alpha'}{\sqrt{r^2 + R_0^2 - 2rR_0 \cos \alpha'}} \quad (17)$$

Розташування розтяжок 16-19 щодо осі Y (величина кута α') визначається з умови досягнення максимальної чутливості струнних частотних перетворювачів датчика вихідної інформації, тобто використання всього можливого діапазону зміни величини додаткового зусилля ΔT кожної розтяжки при заданих її характеристиках. Максимальному значенню моменту $M(M_{\max})$, прикладеного до поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей, ставиться у відповідність максимальне значення сумарного додаткового зусилля $4\Delta T(4\Delta T_{\max})$, що визначається для обраного типу пружних розтяжок датчика. Використовуючи ці дані, на основі співвідношення (10) чи (15) визначаються величини параметрів R_0 , r , α' і α'' . При цьому деякі з них, наприклад r і R_0 , можуть прийматися з конструктивних розумінь. Зміна

величини ΔT_{\max} у залежності від характеристик розтяжок і їхнього матеріалу приводить до зміни кутів α' і α'' . Так, наприклад, при $M=5 \cdot 10^{-2} \text{ Нм}$, $R_0=20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $r=12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) одержимо:

$4\Delta T(\text{Н})$			4.17	4.21	4.41	5.07	6.11	12.18
$\Delta T(\text{Н})$			1.04	1.05	1.10	1.26	1.53	3.05
α'	$-\Delta\alpha''$	(град)	90	82	71	56	43	20
	$+\Delta\alpha''$			98	109	124	137	160

Як впливає з цього приклада, ті самі значення ΔT можуть забезпечуватися при різних кутах α' і α'' з дотриманням такої закономірності:

$$\alpha'' = \frac{\pi}{2} \pm \Delta\alpha''$$

де $\Delta\alpha''$ - відхилення величини α'' , від $\frac{\pi}{2}$.

Це положення дозволяє вибрати один із двох типів стрічкових пружних розтяжок, установлюваних під кутом $\alpha'' \neq \frac{\pi}{2}$, що характеризуються тим самим значенням ΔT_{\max} , але різною довжиною і робочої ділянки.

На основі відомих параметрів R_0 , r , α' і α'' і ΔT_{\max} конструктивна довжина і робочої ділянки кожної зі стрічкових пружних розтяжок 16÷19 може бути визначена так:

$$l = \frac{R_0 \sin \alpha'}{\sin \alpha''} \quad \text{чи} \quad (18)$$

$$l = \sqrt{r^2 + R_0^2 - 2rR_0 \cos \alpha'}$$

Визначивши вираження для додаткового зусилля ΔT (16), представимо співвідношення (4) для сил, що виникають у розтяжках 16÷19 у наступному виді:

$$T_{16} = T_{19} = T_0 - \frac{M}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}, \quad (19)$$

$$T_{17} = T_{18} = T_0 + \frac{M}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}.$$

Надалі будемо розглядати тільки один канал.

Зміна сил натягу пружних розтяжок 16, 17 у процесі вимірів кутових швидкостей приводить до зміни власних частот їхніх коливань:

$$f_{16}^2 = \frac{T_{16}}{4\sigma l^2} = \frac{T_0 - \frac{M}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}}{4\sigma l^2}, \quad (20)$$

$$f_{17}^2 = \frac{T_{17}}{4\sigma l^2} = \frac{T_0 + \frac{M}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}}{4\sigma l^2},$$

де f_{16} , f_{17} - власні частоти коливань розтяжок 16 і 17 відповідно;

σ - лінійна щільність розтяжок 16 19 і 20 23.

З вираження (20) впливає:

$$f_{17}^2 - f_{16}^2 = \frac{M}{8r\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad (21)$$

Чи

$$(f_{17} - f_{16})(f_{17} + f_{16}) = \frac{M}{8r\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad (22)$$

Використовуючи співвідношення (2) відповідно до вираження (22) одержимо:

$$(f_{17} - f_{16})(f_{17} + f_{16}) = \frac{H\omega_Y \cos \beta - H\omega_Z \sin \beta + I_X \dot{\omega}_X - (I_Z - I_Y)(\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta)}{8r\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad \text{чи} \quad (23)$$

$$(f_{17} - f_{16})(f_{17} + f_{16}) = K[\omega_Y \cos \beta - \omega_Z \sin \beta + \frac{I_X}{H} \dot{\omega}_X - \frac{(I_Z - I_Y)}{H}(\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta)],$$

Де

$$K = \frac{H}{8\pi\sigma^2\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad (24)$$

З рівності (23) випливає:

$$\omega_Y \cos \beta - \omega_Z \sin \beta + \frac{I_X}{H} \dot{\omega}_X - \frac{(I_Z - I_Y)}{H} (\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta) = \frac{1}{K} (f_{17} - f_{16}) (f_{17} + f_{16}). \quad (25)$$

Для другого струнного частотного перетворювача вимірника кутових швидкостей вираження (20)-(25) будуть аналогічними, у такий спосіб при фіксованих параметрах вузлів приладу вимірювана кутова швидкість визначається як функція добутку суми і різниці власних частот коливань розтяжок 16-17 (18-19). Однак з вираження (25) випливає, що добуток суми і різниці частот містить інформацію об складових, що визначають розглянуті вище погрішності вимірника кутових швидкостей. Розділити ці складові у вихідному

сигналі $(f_{17}-f_{16})(f_{17}+f_{16})[(f_{18}-f_{19})(f_{18}+f_{19})]$ з метою виділення однієї, що містить ω_Y , неможливо.

Розглянемо далі роботу вимірника кутових прискорень. Вважаємо, що центр мас і центр тиску його рухомої частини - поплавкового вузла збігаються в одній точці, що лежить на осі X, тензор інерції рухомої частини - діагональний і постійний у часі. Динаміку рухомої частини - поплавкового вузла вимірника кутових прискорень 10 щодо осі X опишемо наступним диференціальним рівнянням:

$$I_X''\ddot{\beta}' + K_\delta'\beta' + K_Y'\beta' = I_X'\dot{\omega}_X - (I_Z' - I_Y')(\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta') \quad (26)$$

де I_X' , I_Z' , I_Y' - моменти інерції рухомої частини - поплавкового вузла щодо його головних осей інерції X, Y', Z' ($Y' \parallel Y$, $Z' \parallel Z$);

K_δ' - коефіцієнт демпфірування поплавкового вузла в рідині 5 (питомий момент, що демпфірує.);

K_Y' - коефіцієнт пружності стрічкових розтяжок 20÷23 датчика вихідної інформації і протидіючого моменту вимірника кутових прискорень;

β' - кут повороту рухомої частини - поплавкового вузла вимірника кутових прискорень щодо осі X.

Рівняння (26) аналогічно рівнянню (1) динаміки рухомої частини вимірника кутових швидкостей, сутність елементів (моментів) у цих рівняннях та сама.

Демпфірувальний момент рухомих частин (поплавкових вузлів) обох вимірників створюється в основному за рахунок руху рідини в циліндричному зазорі між поплавковими камерами і корпусом приладу. У цьому випадку величина коефіцієнту демпфірування прямо пропорційна кубу радіуса зовнішньої поверхні поплавкової камери (середнього радіуса зазору), довжині поплавкової камери і коефіцієнту динамічної в'язкості рідини і обернено пропорційна зазору між зовнішньою циліндричною поверхнею поплавкової камери і внутрішньою поверхнею корпусу приладу [Нікітін Б.А., Балашова А.А. Проектування що диференціюють і інтегрують гіроскопів і акселерометрів. - М.: Машинобудування, 1969, с.67]. При відомих (заданих, обраних чи обчислених) значеннях параметрів поплавкової камери вимірника кутових швидкостей (радіус зовнішньої поверхні, довжина), зазору між її зовнішньою поверхнею і корпусом, рідини, форми торцевих поверхонь поплавкової камери вимірника кутових швидкостей 9 і обраних значень параметрів поплавкового вузла (поплавкової камери) вимірника кутових прискорень 10 величина зазору між зовнішньою поверхнею його поплавкової камери і корпусом може бути визначена з умови виконання рівності коефіцієнтів демпфірування рухомих вузлів вимірників. При цьому вид, конфігурація (форма) відповідних торцевих поверхонь поплавкових камер обох вимірників і їхньої відстані від торців внутрішньої поверхні корпусу приладу, а також чистота поверхні поплавкових камер виконуються однаковими.

Відповідно до цього вважаємо, що

$$K_\delta' = K_\delta \quad (27)$$

Вимірник кутових прискорень містить датчик вихідної інформації і протидіючого моменту, що збігає по своїх характеристиках з датчиком вимірника кутових швидкостей. На основі повної ідентичності конструкції, характеристик і розташування відповідних елементів підвісу поплавкових вузлів вимірників - торсіонів 12, 13 і стрічкових пружних розтяжок 16 19, 20 23 датчиків вихідної інформації і протидіючого моменту - забезпечується рівність коефіцієнтів пружності підвісу поплавкових вузлів вимірників:

$$K_Y' = K_Y \quad (28)$$

Покажемо, що можливо забезпечити рівність моментів інерції щодо осі підвісу X рухомих частин обох вимірників при задоволенні вимог по їхній щільності і габаритам.

Ці вимоги такі;

$$\frac{m_C}{V_C} = \frac{m_Y}{V_Y} = \sigma_{ж} \quad (29)$$

$$I_X = I_X \quad (30)$$

$$\frac{L_C}{L_Y} = n > 1, (L_Y = \frac{L_C}{n}) \quad (31)$$

де m_c , m_y - маса рухомої частини - поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей 9 і вимірника кутових прискорень 10 відповідно;

V_c , V_y - зовнішній обсяг рухомої частини - поплавкового вузла кожного вимірника;

L_c , L_y - зовнішня довжина рухомої частини - поплавкового вузла уздовж осі X кожного вимірника;

$\sigma_{ж}$ - щільність рідини 5.

Величина n вибирається з конструктивних розумінь; очевидно, що збільшення n обумовлює скорочення довжини L_y поплавкового вузла вимірника кутових прискорень, а отже, і всього датчика. Вважаємо, що

$$R_c = R_y = R, \quad (32)$$

де R_c , R_y - радіус зовнішньої поверхні поплавкових вузлів вимірників; отже, з урахуванням умов (29) і (31) справедливо:

$$\frac{L_C}{L_Y} = n, \quad \frac{m_C}{m_Y} = n \quad (33)$$

Для спрощення викладень представимо корпус поплавкових камер 9 і 10 як порожні циліндри без бічних стінок, діаметром 6 - як суцільний однорідний циліндр.

Параметри поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей 10:

$$m_c = m_{пс} + m_{гс}, \quad I_x = I_{хп} + I_{хг} \quad (34)$$

де $m_{пс}$, $I_{хп}$ - маса і момент інерції корпусу поплавкової камери,

$m_{гс}$, $I_{хг}$ - маса і момент інерції щодо осі X гіромотора.

Тепер умову (30) можна представити так:

$$\frac{1}{4} m_{гс} \left(\frac{1}{3} L_{г}^2 + R_{г}^2 \right) + \frac{\pi}{2} \sigma_c L_c (R^4 -$$

$$- r_c^4) = \frac{\pi}{2} \sigma_y L_y (R^4 - r_y^4), \quad (35)$$

$$\frac{m_c}{L_c} = \pi (R^2 - r_y^2) \sigma_y \quad \text{чи} \quad (36)$$

$$\sigma_{ж} R^2 = (R^2 - r_y^2) \sigma_y$$

Представивши вираження маси гіромотору в такому виді

$$m_{гс} = \pi R_{г}^2 L_{г} \sigma_{г} \quad (37)$$

де $\sigma_{г}$ - середня щільність матеріалу гіромотору, одержимо залежності шуканих параметрів від відомих:

$$r_y = \sqrt{\frac{n \sigma_{г} R_{г}^2 L_{г} \left(\frac{1}{3} L_{г}^2 + R_{г}^2 \right) + \frac{n \sigma_c (R^4 - r_c^4)}{\sigma_{ж} R^2}}{2 L_c \sigma_{ж} R^2}} - R^2 \quad (38)$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma_{ж} R^2}{R^2 - r_y^2} \quad (39)$$

Так, наприклад, при

$$\sigma_{г} = 7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \quad R = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$R_{г} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \quad \sigma_c = 2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$L_{г} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \quad r_c = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$L_c = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м} \quad \sigma_{ж} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Одержимо

n	1,8	2	2,5	3
r_y (м)	$0,77 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{-2}$	$1,54 \cdot 10^{-2}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$

При $n=3$ і $r_y = 1,91 \cdot 10^{-2}$ м щільність матеріалу корпусу поплавкової камери 10 вимірника кутових

прискорень $\sigma_y \approx 17 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а його довжина $L_y = 2 \cdot 10^{-2}$. Облік реально існуючих бічних стінок поплавкової камери 10 і вставки 11 з матеріалу високої щільності дозволить зменшити щільність матеріалу поплавкової камери 10 і її довжину.

Отже, вище доведено, що $I_x = I_{хг}$. Можна також показати, що здійснима і наступна рівність:

$$I_z - I_y = I_z - I_{yg} \quad (40)$$

при $l_z \neq l_z', l_y \neq l_y'$.

Відповідно до рівностей (27), (28), (30), (40) рівняння руху (26) можна представити так:

$$I_x \ddot{\beta}' + K_{\beta} \beta' = I_x \dot{\omega}_x - (l_z - l_y) (\omega_y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_y \omega_z \cos 2\beta') \quad (41)$$

Розглядаючи також сталий режим, одержимо наступне вираження для активного моменту, прикладеного до поплавкового вузла вимірника кутових прискорень:

$$M' = I_x \dot{\omega}_x - (l_z - l_y) (\omega_y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_y \omega_z \cos 2\beta'). \quad (42)$$

Повороту поплавкового вузла під дією моменту M' протидіють стрічкові пружні розтяжки 20-23. Рівністю $M'_{пр} = M'$ (43)

аналогічній (3), визначається кут β повороту рухливої частини вимірника в сталому режимі.

Під дією моменту M' у розтяжках 20÷23 виникають додаткові зусилля, тобто відбувається перерозподіл сил попереднього (початкового) натягу. З огляду на те, що датчики вихідної інформації і протидіючого моменту обох вимірників цілком ідентичні один одному, запишемо вираження для сил у розтяжках 20-23:

$$\begin{aligned} T_{20} &= T_{23} = T_0 - \Delta T', \\ T_{21} &= T_{22} = T_0 - \Delta T', \end{aligned} \quad (44)$$

де $T_{20}, T_{21}, T_{22}, T_{23}$ - сили натягу розтяжок 20÷23 у процесі вимірів;

$\Delta T'$ - додаткове зусилля, що виникає в кожній розтяжці 20÷23 у процесі вимірів;

Відповідно до вираження (16):

$$\Delta T' = \frac{M'}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}. \quad (45)$$

Перепишемо вираження (44):

$$\begin{aligned} T_{20} &= T_{23} = T_0 - \frac{M'}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}, \\ T_{21} &= T_{22} = T_0 + \frac{M'}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}. \end{aligned} \quad (46)$$

Як і у випадку з вимірником кутових швидкостей, будемо розглядати тільки один канал.

Зміна сил натягу пружних розтяжок 20, 21 у процесі вимірів приводить до зміни власних частот їхніх коливань:

$$\begin{aligned} f_{20}^2 &= \frac{T_{20}}{4\sigma l^2} = \frac{T_0 - \frac{M'}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}}{4\sigma l^2}, \\ f_{21}^2 &= \frac{T_{21}}{4\sigma l^2} = \frac{T_0 + \frac{M'}{4r\varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}}{4\sigma l^2}, \end{aligned} \quad (47)$$

де f_{20}, f_{21} - власні частоти коливань розтяжок 20, 21 відповідно.

З вираження (47) випливає:

$$\begin{aligned} f_{20}^2 - f_{21}^2 &= \frac{M'}{8\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad \text{чи} \\ (f_{20} - f_{21})(f_{20} + f_{21}) &= \frac{M'}{8\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')}. \end{aligned} \quad (48)$$

Використовуючи співвідношення (42), на підставі (48) одержимо:

$$\begin{aligned} (f_{20} - f_{21})(f_{20} + f_{21}) &= \frac{I_x \dot{\omega}_x - (l_z - l_y) (\omega_y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_y \omega_z \cos 2\beta')}{8\sigma l^2 \varphi(R_0, r, \alpha', \alpha'')} \quad (49) \end{aligned}$$

$$= K \left[\frac{I_x}{H} \dot{\omega}_x - \frac{(l_z - l_y)}{H} (\omega_y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_y \omega_z \cos 2\beta') \right].$$

З цього вираження випливає, що кутове прискорення визначається як добуток суми і різниці власних частот коливань розтяжок 20, 21:

$$\begin{aligned} \omega_X - \frac{l_Z - l_Y}{l_X} (\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta') = \\ = \frac{H}{K l_X} (f_{20} - f_{21})(f_{20} + f_{21}) \end{aligned} \quad (50)$$

Для другого струнного частотного перетворювача вимірника кутових прискорень вираження (47)-(50) будуть аналогічними.

Розглянемо принцип дії одного з восьми каналів схеми попередньої обробки інформації (фіг.3).

Гармонічно змінний сигнал S_{AG} (див. фіг.4) з виходу автогенератора 32 (33÷39) надходить на вхід блоку узгодження 64 (65÷71), що служить для формування сигналу з необхідними параметрами (амплітуда, форма, потужність і т.д.) і для узгодження виходу автогенератора 32 (33÷39) із входом пристрою керування перетворювачем 72 (73÷79). Пристрій керування перетворювачем 72 (73÷79) формує сигнал $S_{ПКП}$ (фіг.4), що є послідовністю імпульсів, період яких кратний періоду вихідного гармонійного сигналу автогенератора 32 (33÷39).

Сигнал $S_{ГЗІ}$ (див. фіг.4) на виході генератора заповнюючих імпульсів 88 являє собою послідовність імпульсів з більш високою частотою проходження, чим частота гармонійного сигналу S_{AG} автогенератора 32 (33÷39). Частота генератора заповнюючих імпульсів 88 вибирається такою, щоб період вихідного сигналу автогенератора 32 (33÷39) включав таку кількість імпульсів генератора заповнюючих імпульсів 88, що забезпечувало б необхідну точність і чутливість схеми попередньої обробки інформації.

Далі сигнали $S_{ГЗІ}$ і $S_{ПКП}$ надходять на входи перетворювача кількості імпульсів у код 80 (81÷87), причому перетворювач кількості імпульсів у код містить керований лічильник, який перетворює означену кількість імпульсів за обраний проміжок часу в числовий код. Такий проміжок часу вибирається кратним періоду гармонійного сигналу автогенератора 32 (33÷39). Сигнал $S_{Л}$ на вході лічильника має вид, представлений на фіг.4.

Якщо вибрати проміжок часу, що буде дорівнювати періоду гармонійного сигналу автогенератора 32 (33÷39), то кількість імпульсів за цей проміжок часу розраховується по формулі:

$$n_i = K_{ГЗІ} \frac{T_i}{2} \quad (51)$$

де $i=16÷23$ - номер пружної стрічкової розтяжки струнних частотних перетворювачів;

$K_{ГЗІ}$ - коефіцієнт заповнення імпульсами, він залежить від частоти генератора заповнюючих імпульсів 88;

$$T_i = \frac{1}{f_i} \quad \text{- періоди гармонійного вихідного сигналу автогенераторів 32÷39.}$$

Код, що відповідає кількості імпульсів n_i , за обраний проміжок часу, надходить на інформаційний вхід вихідного буферного регістру 89 (90÷96), на перший керуючий вхід якого надходить сигнал із другого виходу пристрою керування перетворювачем 72 (73÷79). У вихідному буферному регістрі 89 (90÷96) інформація зберігається перед подальшою обробкою в мікроконтролері 97 (фіг.5).

Перед початком вибірки інформації з вихідного буферного регістру 89 (90÷96) на його другий керуючий вхід 98 (99÷105) надходить сигнал по вихідній лінії 98 (99÷105) першого паралельного порту вводу-виводу 106. Усі сигнали, що надходять на другий керуючий вхід 98÷105 вихідних буферних регістрів 89÷96, представляють спільно унітарний код, тобто в будь-який момент часу тільки на одній якійсь лінії 98÷105 є присутнім сигнал, що відповідає логічній "1". Вибірка інформації здійснюється з буферного регістру, на другий керуючий вхід якого подається "1". Передача інформації від відповідного вихідного буферного регістру 89÷96 через паралельний порт вводу-виводу P1 107 у мікроконтролер 97 здійснюється по відповідній лінії зв'язку 108÷111.

У мікроконтролері 97 відповідно до заданої програми реалізуються рівняння (25) і (50) з використанням отриманих з вихідних буферних регістрів 89÷96 даних.

Розглянемо роботу мікроконтролера 97 по виділенню вихідного сигналу відповідно рівнянням (25) і (50). Згідно з рівнянням (51)

$$f_i = \frac{K_{ГЗІ}}{2n_i} \quad (52)$$

Використовуючи дану рівність і вираження (25) і (50), одержимо:

$$\begin{aligned} \omega_Y \cos \beta - \omega_Z \sin \beta + \frac{l_X}{H} \omega_X - \frac{(l_Z - l_Y)}{H} (\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta}{2} - \\ - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta) = \frac{K_{ГЗІ}^2}{4K} (\frac{n_{17} - n_{18}}{n_{18}n_{17}}) (\frac{n_{17} + n_{18}}{n_{18}n_{17}}) \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_X - \frac{I_Z - I_Y}{I_X} (\omega_Y^2 \frac{\sin 2\beta'}{2} - \omega_Z^2 \frac{\sin 2\beta}{2} + \omega_Y \omega_Z \cos 2\beta') = \\ = \frac{HK_{\Gamma 31}^2}{4KI_X} (\frac{n_{22} - n_{21}}{n_{21}n_{22}})(\frac{n_{22} + n_{21}}{n_{21}n_{22}}). \end{aligned} \quad (54)$$

Відповідно до рівняння (53) мікроконтролер 97 формує вихідний сигнал 119, що містить інформацію як про вимірювану кутову швидкість ω_Y , так і об'єднаних, що визначають погрішності вимірів. Даний вихідний сигнал видається з мікроконтролера 97 по лініях порту P2 116.

За допомогою підбора конструктивних параметрів приладу можна забезпечити рівність моментів інерції рухомої частини:

$$I_Z = I_Y \quad (55)$$

Завдяки цьому з рівностей (53), (54) ідуть наступні доданки: четверте з (53) і друге з (54).

Одержимо наступні вираження:

$$\omega_Y \cos \beta - \omega_Z \sin \beta + \frac{I_X}{H} \dot{\omega}_X = \frac{K_{\Gamma 31}^2}{4K} (\frac{n_{17} - n_{18}}{n_{18}n_{17}})(\frac{n_{17} + n_{18}}{n_{18}n_{17}}) \quad (56)$$

$$\dot{\omega}_X = \frac{HK_{\Gamma 31}^2}{4KI_X} (\frac{n_{22} - n_{21}}{n_{21}n_{22}})(\frac{n_{22} + n_{21}}{n_{21}n_{22}}). \quad (57)$$

З рівняння (57) випливає, що кутове прискорення $\dot{\omega}_X$ визначається конструктивними параметрами приладу і кількістю імпульсів n_{20} , n_{21} . Даний сигнал 120 видається з мікроконтролера 97 по лініях порту P3 117.

Вирішуючи спільно рівняння (56) і (57) одержимо наступне:

$$\omega_Y \cos \beta - \omega_Z \sin \beta = \frac{K_{\Gamma 31}^2}{4K} [(\frac{n_{17} - n_{18}}{n_{18}n_{17}})(\frac{n_{17} + n_{18}}{n_{18}n_{17}}) - (\frac{n_{22} - n_{21}}{n_{21}n_{22}})(\frac{n_{22} + n_{21}}{n_{21}n_{22}})] \quad (58)$$

Проаналізуємо величину кута β відхилення рухомих частин вимірника кутових швидкостей. Цей кут обумовлений подовженням пружних розтяжок $16 \div 19$ у процесі вимірів, що характеризуються дуже високою жорсткістю в подовжньому напрямку, і, як буде показано нижче, не перевищує одиниць кутових хвилин. Тому з досить високим ступенем точності можна вважати, що

$$\sin \beta \cong 0 \quad \cos \beta \cong 1 \quad (59)$$

Отже, вираження (58) спрощується:

$$\omega_Y = \frac{K_{\Gamma 31}^2}{4K} [(\frac{n_{17} - n_{18}}{n_{18}n_{17}})(\frac{n_{17} + n_{18}}{n_{18}n_{17}}) - (\frac{n_{22} - n_{21}}{n_{21}n_{22}})(\frac{n_{22} + n_{21}}{n_{21}n_{22}})] \quad (60)$$

Одержали рівняння, що представляє собою алгоритм формування вихідного сигналу, який відповідає кутовій швидкості ω_Y . Цей сигнал 121 можна видавати з мікроконтролера 97 по лініях порту P4 118.

У перехідних режимах роботи датчика ($\ddot{\beta}$, $\ddot{\beta}'$, $\ddot{\beta}$, $\ddot{\beta}' \neq 0$) виділення корисного сигналу відповідно до викладеної методики також можливо при збігу коефіцієнтів лівих частин рівнянь (1), (26) динаміки поплавкових вузлів обох вимірників, тобто визначених параметрів вимірників, елементів підвісу поплавкових камер і датчиків вихідної інформації і протидіючого моменту. Вище показано, як забезпечується в запропонованому рішенні рівність моментів інерції поплавкових вузлів вимірників щодо осей їхнього підвісу, коефіцієнтів демпфірування і коефіцієнтів пружності підвісу обох рухомих частин. На основі відомих аналітичних залежностей [Нікітін Б.А., Балашова А.А. Проектування що диференціюють і інтегрують гіроскопів і акселерометрів. - М.: Машинобудування, 1969, с.20, 21] можна зробити висновок, що при цьому досягається рівність частот власних коливань рухомих частин обох вимірників. Крім того варто враховувати, що частоти власних коливань вимірників дуже високі, а перехідні процеси загасають швидко.

Розглянемо переваги запропонованого датчика кутових швидкостей.

Величини кутів β і β' відхилення поплавкових вузлів обох вимірників датчика цілком визначаються коефіцієнтом пружності (жорсткістю) елемента, що створює протидіючий момент, тобто стрічкових пружних розтяжок струнних частотних перетворювачів датчика вихідної інформації:

$$K_Y = K_Y^P \quad (61)$$

у той час, як коефіцієнт пружності датчика - прототипу складається з двох доданків:

$$K_Y = K_Y^P + K_Y^T \quad (62)$$

де K_Y^P - коефіцієнт пружності (жорсткість) стрічкових пружних розтяжок струнних частотних диференціальних перетворювачів датчика вихідної інформації;

K_Y^T - коефіцієнт пружності (жорсткість) трубчастих торсіонів.

По статичній характеристиці (фіг.6) видно, що одній кутовій швидкості ω_1 відповідають різні кути β_1 і β_1' відхилення поплавкових вузлів запропонованого датчика та датчика - прототипу, тобто крутість статичної характеристики запропонованого датчика значно вище, що обумовлює збільшення чутливості

вимірника в цілому.

До того ж при такому коефіцієнті пружності (питомого моменту) максимальний кут β відхилення поплавкового вузла вимірника кутових швидкостей (вимірника кутових прискорень) не перевищує одиниць кутових хвилин.

Відповідно до цього запропонований датчик кутових швидкостей має наступні переваги:

1. Погрішність за рахунок нелінійності статичної характеристики практично дорівнює нулю (статична характеристика є лінійною), тому що $\cos\beta_{\max} \cong 1$.

2. Кінематична погрішність за рахунок перехресної кутової швидкості ω_Z при величинах кутових швидкостей ω_Y і ω_Z одного порядку визначається співмножником $\sin\beta_{\max}$ і з огляду на малість β_{\max} , складає $(0,7 \div 0,2)\%$.

3. Погрішність від переносного кутового прискорення корпусу щодо осі прецесії поплавкового вузлу є відсутньою.

4. Погрішність за рахунок інерційного моменту відцентрових сил, породжуваних вимірюваною та перехресною кутовими швидкостями, є відсутньою.

Введення в конструкцію датчика кутових швидкостей елементів закріплення стрічкових пружних розтяжок на корпусі у виді твердих стрижнів і пружних мембран, введення в схему попередньої обробки інформації восьми ідентичних блоків, кожний з яких складається з автогенератора, блоку узгодження, пристрою керування перетворювачем, перетворювача кількості імпульсів у код і вихідного буферного регістру, введення в схему попередньої обробки інформації мікроконтролера дозволяє досягти наступного позитивного результату:

1. Збільшення чутливості вимірника за рахунок зменшення коефіцієнта пружності протидіючих елементів, що досягається запропонованим способом закріплення розтяжок і виключенням трубчатого торсіону.

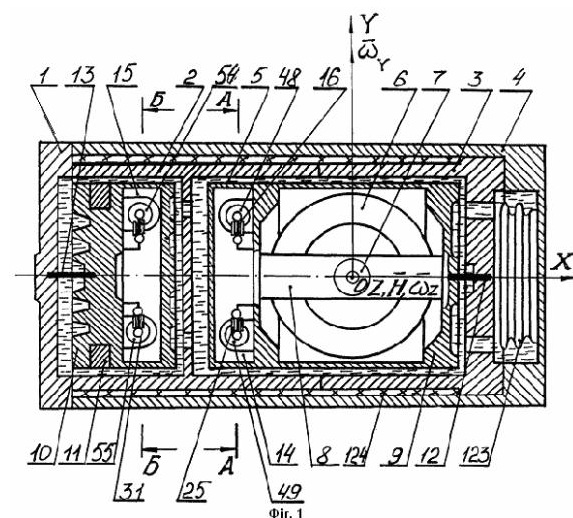
2. Спрощення схеми попередньої обробки інформації за рахунок виключення з неї каналу зворотного зв'язку.

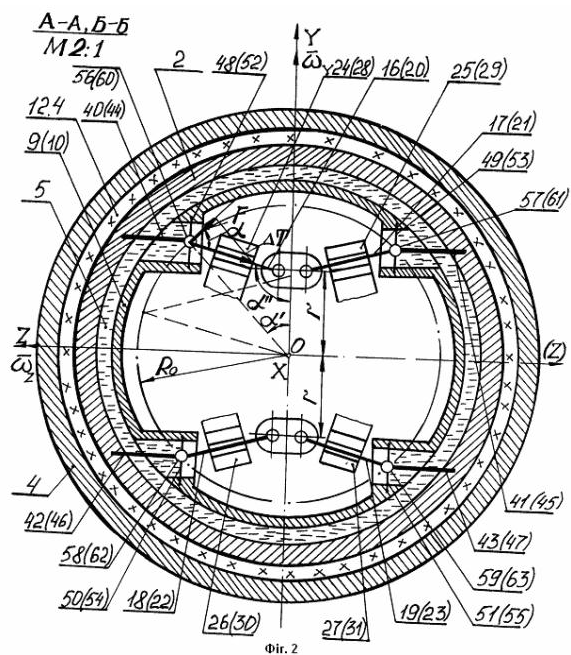
3. Зменшення погрішності виміру за рахунок підвищення точності обробки інформації, що досягається введенням мікроконтролера.

4. Розширення функціональних можливостей датчика в цілому: одночасний вимір кутових швидкостей і кутових прискорень щодо ортогональних осей.

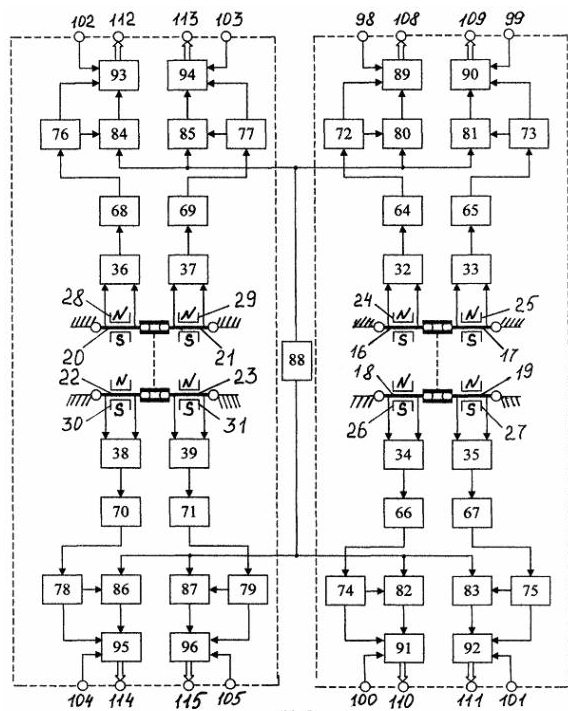
5. Спрощення конструкції вимірника за рахунок виключення елементів зворотного зв'язку та уніфікації вузлів закріплення стрічкових пружних розтяжок на корпусі приладу.

Використання запропонованого датчика кутових швидкостей у прецизійних вимірювальних, інформаційно-командних і навігаційних системах, у БІСН високоманеврених рухомих об'єктів в умовах значних вібрацій і ударних навантажень дозволить істотно підвищити точність виміру кутових швидкостей і параметрів пружних коливань елементів конструкції об'єкта при одночасному вимірі кутових прискорень, а також - забезпечити безпосередній зв'язок датчика з цифровими обчислювальними пристроями.

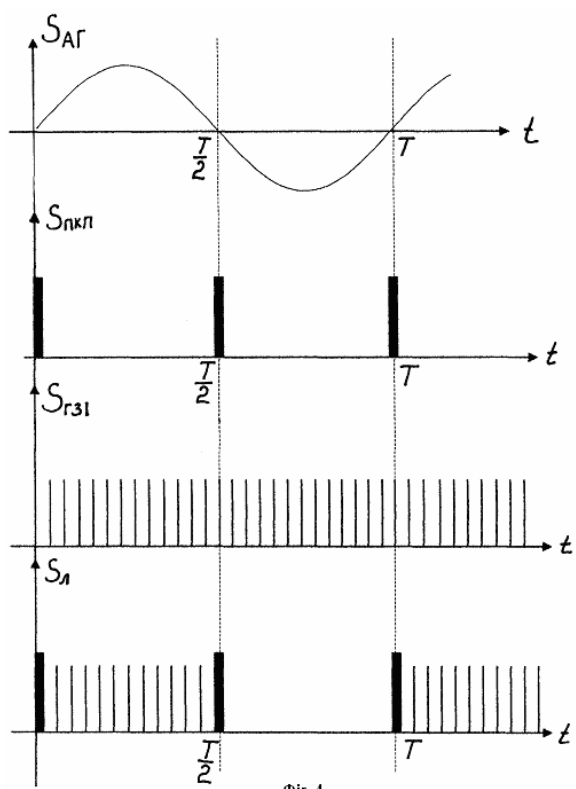




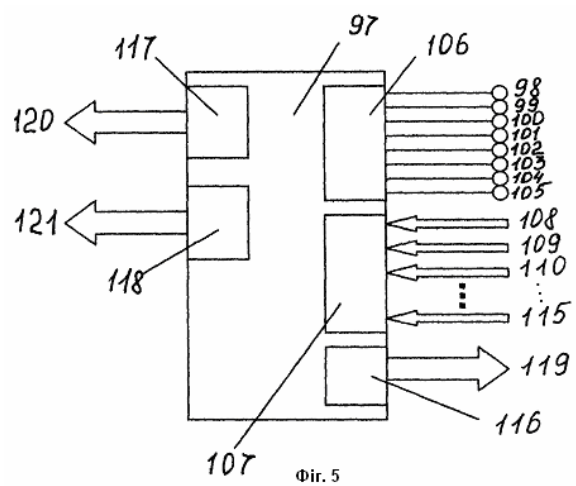
Фиг. 2



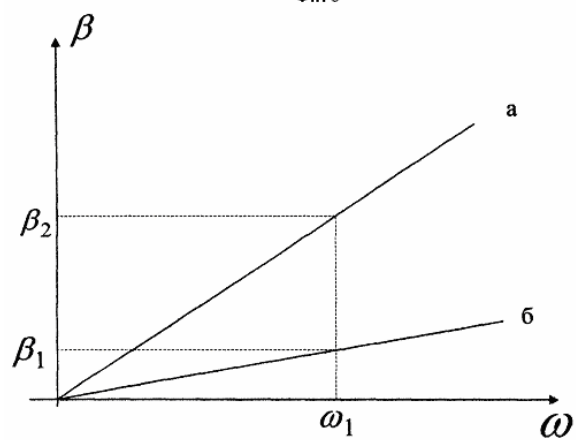
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6