

Кінематичні залежності гіроприладу з безконтактно підвішеним ротором для вирішення задач високоточної навігації

Вирішується завдання створення математичної моделі гіроприладу на базі вільного триступеневого гіроскопа для алгоритмічного забезпечення навігаційних систем із безконтактно підвішеним ротором із випадковою складовою кутової швидкості дрейфу $0,01-0,001$ град/год.

Вирішення задач навігації на базі вільних гіроскопів включає аналіз можливостей побудови таких систем та розробку раціональних алгоритмів їх функціонування. Така постановка завдання висуває на перший план синтез докладної математичної моделі вільного гіроскопа з безконтактно підвішеним ротором.

В Україні було успішно проведено випробування та створення зразків гіроскопів з магнітним підвісом ротора. Система підвіски цих гіроскопів практично байдужа до середовища, в якому працює гіроскоп, але з метою зменшення моментів гальмування ротор гіроскопа поміщений у вакуумовану камеру.

Вихідними даними для побудови математичної моделі вільного гіроскопа з безконтактно підвішеним ротором є:

- електрокінематична схема гіроприладу на базі вільного триступеневого гіроскопа з двокоординатним датчиком стеження за положенням ротора щодо кожуха (внутрішньої рами) гіроскопа;
- використання системи підвісу ротора гіроскопа як трикомпонентний акселерометр;
- систематичні дрейфи по двох осях Резальо ротора гіроскопа паспортизовані;
- математична модель розробляється для нерухомої основи з метою її подальшого використання для визначення азимутальної орієнтації гіроприладу та для повної географічної прив'язки при використанні двох гіроприладів.

Іншою особливістю цих гіроскопів є використання двокоординатного датчика, розташованого на кожусі гіроприладу. Датчик забезпечує двокоординатне стеження кожуха за віссю обертання ротора. У цих умовах від двокоординатного датчика кута та двигунів управління положенням кожуха потрібно виконання своїх функцій у малому кутовому діапазоні.

У базовому гіроприладі використовувався магніторезонансний підвіс[1]. Залежність електричного струму в робочих обмотках магніторезонансного підвісу від зміщення ротора щодо кожуха гіроскопа, який, у свою чергу, має зміщення через лінійні прискорення об'єкта на якому встановлений гіроприлад, дає можливість використовувати магніторезонансний підвіс як трикомпонентний акселерометр.

Електрокінематична структура гіроприладу на базі вільного гіроскопа з двокоординатним датчиком положення ротора та трикомпонентним акселе-

рометром може бути представлена у вигляді (рис.1)

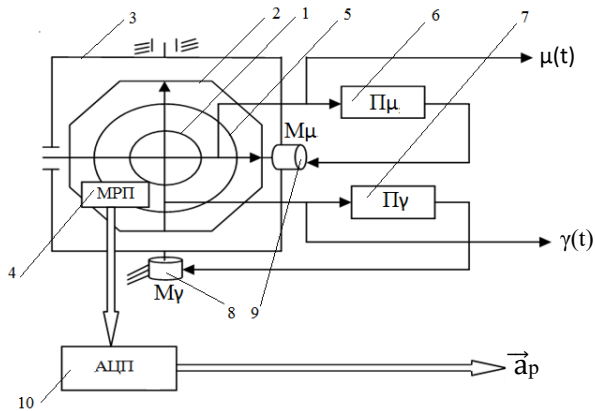


Рис.1

На структурі показані: 1-сферичний ротор гіровузла; 2-корпус гіровузла; 3-зовнішня рама гіроприладу пов'язана з об'єктом; 4-магніторезонансний підвіс (МРП), розміщений в корпусі гіровузла; 5-двохкоординатний датчик кутового положення (ДДУ) гіровузла; 6,7-Пμ,Пγ підсилювачі сигналів з ДДУ по каналах μ і γ ; 8,9-Мμ,Мγ двигуни управління положенням гіровузла та зовнішньої рами; 10-аналогово-цифровий перетворювач на вхід якого надходять напруги управління положенням ротора з МРП u_i , $i=1-6$, а на виході вимірюються цифровані значення прискорення за трьома осями Резаля $\vec{a}_p$; μ, γ - вихідні сигнали з ДДУ.

Гіроприлад з некоректованим гіроскопом має низку незаперечних переваг до яких можна віднести:

- відсутність моментів, що породжують дрейфи гіроскопа через вплив карданових рам;
- відсутність моментів, що породжують дрейфи гіроскопа через наявність перехресних зв'язків у рамках карданного підвісу.

Разом з тим використання в базовому гіроприладі магніторезонансного підвісу ротора [1] призводить до його гальмування навіть у вакуумі через обертальний гістерезис. Тому електропривод у гіроскопі на магнітному підвісі працює постійно, хоча потужність, яка для нього потрібна, незначна.

Математична модель гіроприладу передбачає на її виході отримання кутових величини відхилення кожуха гіроскопа $\mu(t)$ і $\gamma(t)$ щодо ротора з двокоординатного датчика та сигналів з трикомпонентного акселерометра $\vec{a}_{FLM}$ в осях тригранника Резаля, який в даному завданні є приладом положення ротора в інерціальному просторі.

Введемо на розгляд наступні системи координат(СК):

- $01\xi\eta\zeta$, інерціальна з початком у центрі Землі, віссю 01ξ спрямованою вздовж полярної осі Землі до Північного полюса, та осями η, ζ , що лежать у площині паралельній площини екватора і не беруть участь у добовому обертанні Землі. Положення вектора кінетичного моменту гіроприладу в цій СК визначається інерціальними координатами $\alpha, \Delta, \varepsilon$ і відповідними матрицями напрямних та зворотних направляючих косінусів $\mathbf{B}(\alpha), \mathbf{B}(\Delta), \mathbf{B}(\varepsilon), \mathbf{B}^{-1}(\alpha), \mathbf{B}^{-1}(\Delta), \mathbf{B}^{-1}(\varepsilon)$;

- $01XYZ_z$, геоцентрична сферична СК в якій координати гіроприладу на поверхні Землі задаються параметром $q = \lambda_{ost} + S_{gr}$, що визначається східною довготою точки 0 і годинним кутом точки Овна Υ в Грінвічі і північною широтою φ точки 0 , де точка 0 - нерухома відносно Землі точка підвісу ротора гіроприладу. Перетворення складових вектора з СК $01\xi\eta\zeta$ в $01XYZ_z$ забезпечується матрицями напрямних та зворотних направляючих косінусів $\mathbf{B}(S_{gr}), \mathbf{B}(\lambda_{ost}), \mathbf{B}(\varphi), \mathbf{B}^{-1}(S_{gr}), \mathbf{B}^{-1}(\lambda_{ost}), \mathbf{B}^{-1}(\varphi)$;

- $0ENH$ - супроводжувачий тригранник. Початок тригранника знаходиться в точці, місцезнаходження гіроприладу, вісь $0H$ спрямована по місцевій вертикалі, вісь $0N$ збігається з напрямком на північ. Положення тригранника $0FLM$ у цій СК визначається кутом азимуту A , висотою h , кутом β і відповідними матрицями напрямних та зворотних направляючих косінусів $\mathbf{B}(A), \mathbf{B}(h), \mathbf{B}(\beta), \mathbf{B}^{-1}(A), \mathbf{B}^{-1}(h), \mathbf{B}^{-1}(\beta)$;

- ЛА-центрична СК $0XYZ_{ЛА}$. Положення осей $0XYZ_{ЛА}$ щодо супроводжувачого тригранника $0ENH$ визначається кутами істинного курсу, тангажу, крену і відповідними матрицями напрямних та зворотних направляючих косінусів $\mathbf{B}(\psi), \mathbf{B}(\vartheta), \mathbf{B}(\gamma), \mathbf{B}^{-1}(\psi), \mathbf{B}^{-1}(\vartheta), \mathbf{B}^{-1}(\gamma)$;

- $0XYZ_{вр}$, СК пов'язана із внутрішньою рамою гіроскопа. Дві осі системи координат збігаються з осями двокоординатного датчика положення ротора гіроприладу. Кутове положення осей Резалю щодо СК визначається кутами μ і ν і відповідними матрицями напрямних та зворотних направляючих косінусів $\mathbf{B}(\mu), \mathbf{B}(\nu), \mathbf{B}^{-1}(\mu), \mathbf{B}^{-1}(\nu)$.

Таким чином з урахуванням введених на розгляд вищеперерахованих СК перерахунок довільного вектора з однієї СК до іншої можна подати у вигляді

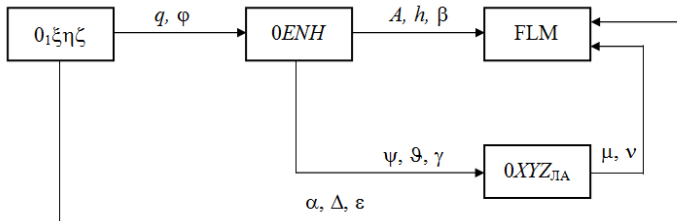


Рис.2

Наведена структура векторних зв'язків між системами координат та параметрами моделі дозволяє записати кілька груп рівнянь щодо кутових положень ротора гіроприладу та його кутових швидкостей.

Положення осей Резаля (FLM) щодо інерціальної геоцентричної екваторіальної СК для вектора показань трикомпонентного акселерометра за його осями чутливості має вигляд

$$\bar{\mathbf{a}}_{FLM} = \mathbf{B}(\varepsilon)\mathbf{B}(\Delta)\mathbf{B}(\alpha)\mathbf{B}^{-1}(q)\mathbf{B}^{-1}(\varphi) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (1)$$

Вектор показань трикомпонентного акселерометра через параметри та матриці напрямних косінусів ЛА-центричної СК $\partial XYZla$ та СК, пов'язаної з внутрішньою рамою та через горизонтальні координати вектора кінетичного моменту гіроприладу можна представити у вигляді

$$\bar{\mathbf{a}}_{FLM} = \mathbf{B}(\mu)\mathbf{B}(\nu)\mathbf{B}(\gamma)\mathbf{B}^{-1}(\vartheta)\mathbf{B}^{-1}(\varphi) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{FLM} = \mathbf{B}(\mu)\mathbf{B}(h)\mathbf{B}(A) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (3)$$

Векторне рівняння для кутової швидкості обертання Землі в осях Резаля гіроприладу через інерціальні координати α , Δ , ε має вигляд

$$\bar{\boldsymbol{\Omega}}_{FLM} = \mathbf{B}(\varepsilon)\mathbf{B}(\Delta)\mathbf{B}(\alpha) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} \quad (4)$$

Кутова швидкість вектора кінетичного моменту гіроскопа у проекціях на осі Резаля в інерціальному просторі визначається дрейфами гіроскопа в осях F та L, це призводить до появи вихідних сигналів із двокоординатного датчика $\mu(t)$ і $\gamma(t)$. На підставі теореми про додавання обертань навколо осей, що перетинаються, кутова швидкість осей Резаля може бути представлена у вигляді

$$\bar{\boldsymbol{\omega}}_{FLM} = \begin{bmatrix} -\frac{ML}{H} \\ \frac{MF}{H} \\ -\omega M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{\mu} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \mathbf{B}(\mu) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\gamma} \end{bmatrix} + \mathbf{B}(\nu)\mathbf{B}(\psi)\mathbf{B}(\vartheta)\mathbf{B}(\gamma)\mathbf{B}(\varphi)\mathbf{B}(q) \begin{bmatrix} 0 \\ \Omega \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Положення вектора кінетичного моменту гіроскопа в інерціальній системі координат $\partial l \xi \eta \zeta$ має вигляд:

$$\bar{\mathbf{H}}_{\partial l \xi \eta \zeta} = \mathbf{B}^{-1}(\alpha)\mathbf{B}^{-1}(\Delta)\mathbf{B}^{-1}(\varepsilon) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H \sin \alpha \\ H \cos \alpha \\ H \cos \alpha \sin \alpha \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} H \sin \alpha \\ H \cos \Delta \\ H \cos \alpha \sin \Delta \end{bmatrix} = \mathbf{B}^{-1}(q)\mathbf{B}^{-1}(\psi)\mathbf{B}^{-1}(A)\mathbf{B}^{-1}(h)\mathbf{B}^{-1}(\beta) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} H \sin \alpha \\ H \cos \Delta \\ H \cos \alpha \sin \Delta \end{bmatrix} = \mathbf{B}^{-1}(q)\mathbf{B}^{-1}(\varphi)\mathbf{B}^{-1}(\psi)\mathbf{B}^{-1}(\vartheta)\mathbf{B}^{-1}(\nu)\mathbf{B}^{-1}(\gamma)\mathbf{B}^{-1}(\mu) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Висновки

Отримані кінематичні залежності гіроприладу з безконтактно підвішеним ротором і рівняння його параметрів (рівняння 1-8) є інформацією для побудови його математичної моделі та алгоритму визначення азимутальної прив'язки нерухомої основи [2]. У разі використання двох гіроприладів передбачається здійснити повну їхню географічну прив'язку, а отже, і прив'язку місця, на якому вони встановлені, тобто визначити φ , λ , ψ .

Список літератури

1. Мартиненко Ю.Г. Про проблеми левітації тіл у силових полях. Сороківський Освітній Журнал. 1996. 3. С. 82-86.
2. Смірнов О.І. Обґрунтування структурної схеми математичної моделі вільного гіроскопа на магнітному підвісі. Збірник наукових доповідей, КІВПС, 2009р, с.319-324.