

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ДИНАМІКУ КОРІОЛІСОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

Возний В. В., Апостолук В. О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Вступ

При проектуванні, розробці та дослідженні коріолісового вібраційного гіроскопа (КВГ) важливим фактором є наявність адекватної математичної та чисельної комп'ютерної моделі, які б враховували всі можливі збурення, що діють на нього. Це дозволить дослідити похибки, виділити їх, та синтезувати алгоритми або пристрої їх компенсації.

Основний зміст

Метою статті є складання адекватної математичної та комп'ютерної моделі КВГ з урахуванням температурного впливу.

З літератури відомо, що рівняння руху чутливого елемента (ЧЕ) КВГ можна записати у вигляді системи двох диференціальних рівнянь [2]:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2\zeta_1 \cdot k_1 \cdot \dot{x}_1 + (k_1^2 - \Omega^2) \cdot x_1 + g_1 \Omega \dot{x}_2 + d_3 \dot{\Omega} x_2 = q_1(t) \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_2 \cdot k_2 \cdot \dot{x}_2 + (k_2^2 - \Omega^2) \cdot x_2 - g_2 \Omega \dot{x}_1 - \dot{\Omega} = q_2(t) \end{cases} \quad (1)$$

Де: x_1 – узагальнена координата по осі збудження ox_1 (первинні коливання); x_2 – узагальнена координата по осі зйому ox_2 (вторинні коливання); m_1 – маса рамки; m_2 – маса ЧЕ; ζ_1 та ζ_2 – безрозмірні відносні коефіцієнти демпфування; Ω – вимірювана кутова швидкість; $q_1(t)$ та $q_2(t)$ – узагальнені прискорення від зовнішніх сил; d_3 , g_1 , g_2 – безрозмірні коефіцієнти динамічної несиметричності пружного підвісу та ЧЕ взагалом; k_1, k_2 – відповідні парціальні частоти; c_1 та c_2 – жорсткості пружного підвісу по осям $0x_1$ та $0x_2$ відповідно. Пружний підвіс по кожній з осей представляється у вигляді чотирьох балок прямокутного перерізу працюючих на згин, тоді: E_1 та E_2 – модулі Юнга пружного підвісу по відповідним осям; J_1 та J_2 – моменти інерції пружного підвісу; l_1 та l_2 – довжини елементів пружного підвісу по відповідним осям.

Доцільно стверджувати що основними характеристиками КВГ, які чутливі до зміни температури є жорсткість пружного підвісу та коефіцієнт демпфування. В літературі [4] представлені лінійні варіації залежностей довжини довільного елемента та модуля Юнга від температури: $l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T)$ – довжина довільного елемента, де α – температурний коефіцієнт теплового розширення, $E = E_0(1 + \alpha_E \cdot \Delta T)$ – модуль Юнга, де α_E – температурний коефіцієнт модуля Юнга, $\Delta T = T - T_0$ – зміна

температури. Також в [4] представлена залежність коефіцієнта демпфування від температури: $\zeta = \zeta_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^\mu$, де μ - температурний коефіцієнт зміни демпфування (для водня $\mu = 0.678$); $c_{0,1,2}$ та ζ_0 - коефіцієнти жорсткості та коефіцієнт демпфування відповідних матеріалів та середовища при початковій температурі (23°C).

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2\zeta_{1_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\mu \cdot k_{1_0} \sqrt{(1 + \alpha_E(T - T_0))(1 + \alpha(T - T_0))} \cdot \dot{x}_1 + \\ + (k_{1_0}^2 \cdot (1 + \alpha_E(T - T_0))(1 + \alpha(T - T_0)) - \Omega^2) \cdot x_1 + g_1 \Omega \dot{x}_2 + d_3 \dot{\Omega} x_2 = q_1(t) \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_{2_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^\mu \cdot k_{2_0} \sqrt{(1 + \alpha_E(T - T_0))(1 + \alpha(T - T_0))} \cdot \dot{x}_2 + \\ + (k_{2_0}^2 \cdot (1 + \alpha_E(T - T_0))(1 + \alpha(T - T_0)) - \Omega^2) \cdot x_2 - g_2 \Omega \dot{x}_1 - \dot{\Omega} x_1 = q_2(t) \end{cases} \quad (2)$$

(2) – математична модель динаміки КВГ з урахуванням температурного впливу. Дана модель більш адекватна ніж описані раніше в літературі, тому що вона базується на адекватних твердженнях про природу впливу температури на елементи та середовище КВГ.

На основі математичної моделі синтезовано комп'ютерну модель з урахуванням температурного впливу:

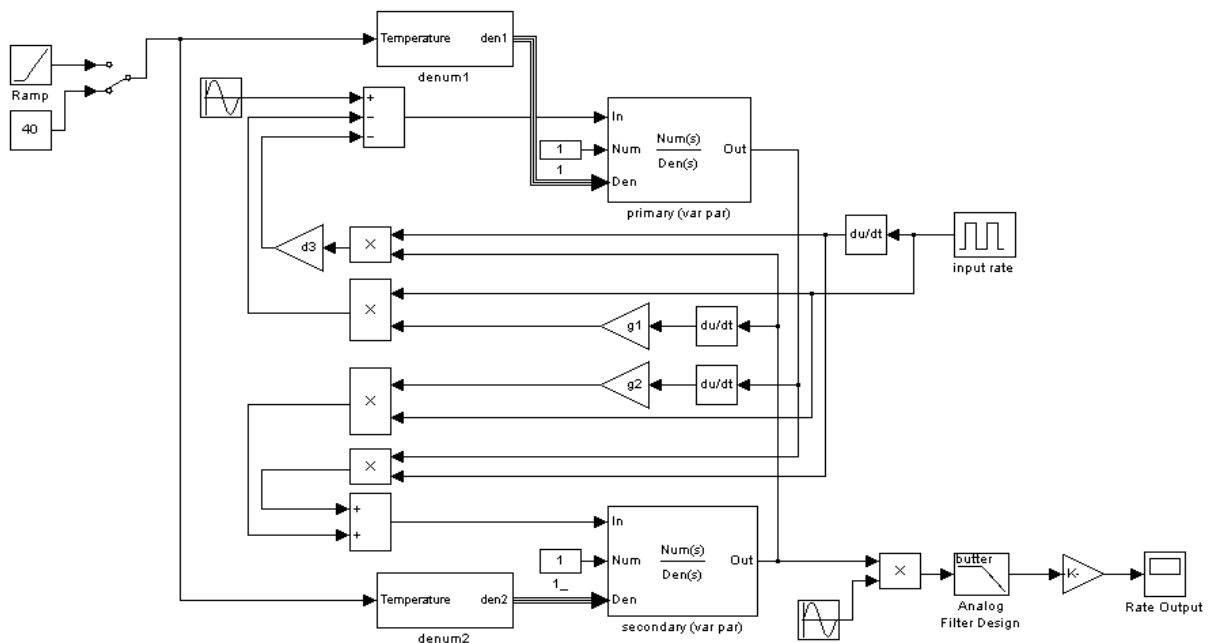


Рис.1 Комп'ютерна модель КВГ з урахуванням температурного впливу

На рис.1 блоки primary (var par) та secondary (var par) – блоки реалізації передатних функцій $\frac{1}{S^2 + 2\zeta_1(T)k_1(T)S + k_1^2(T)}$ та $\frac{1}{S^2 + 2\zeta_2(T)k_2(T)S + k_2^2(T)}$ відповідно.

Покажемо результати моделювання отриманої комп'ютерної моделі. На рис. 2 зображено порівняння вихідного сигналу комп'ютерної моделі КВГ з урахуванням температурного впливу та без нього при пульсуючому сигналі на вході, де червоною лінією позначено вхідний сигнал, зеленою лінією - сигнал моделі без урахування температурного впливу, синьою лінією – з урахуванням (при $\Delta T = const = 10^\circ K$). Бачимо що існує відхилення сигналу першої моделі від другої, яке представляє собою температурну похибку.

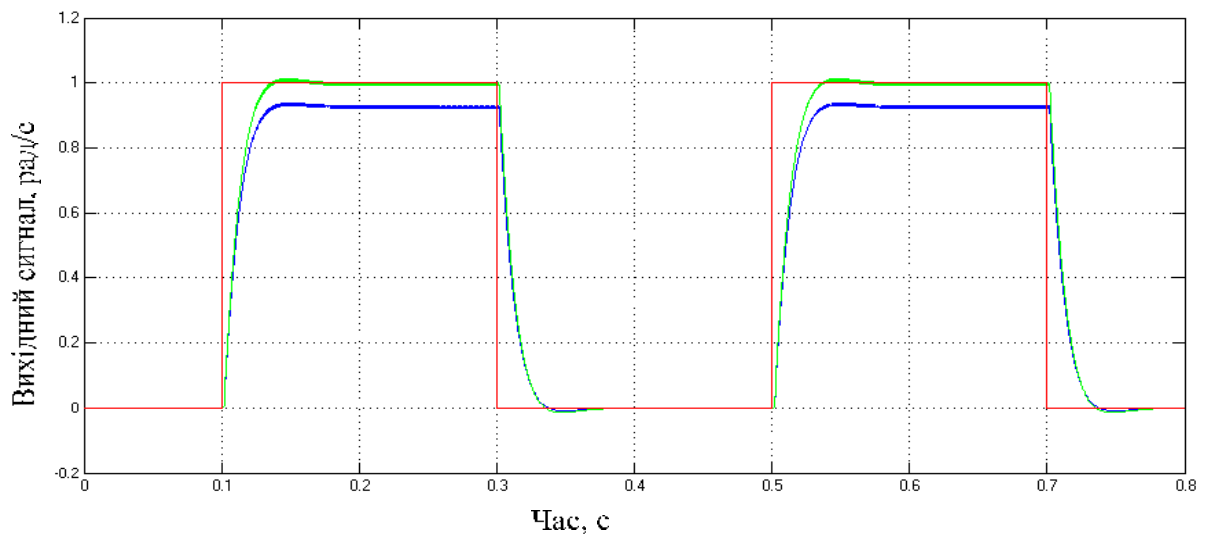


Рис. 2 Порівняння вихідного сигналу моделі з урахуванням температурного впливу та без нього

На рис. 3 зображена температурна похибка, яка при дії на вході системи імпульсів з амплітудою 1 рад/с досягає значення 0.075 рад/с.

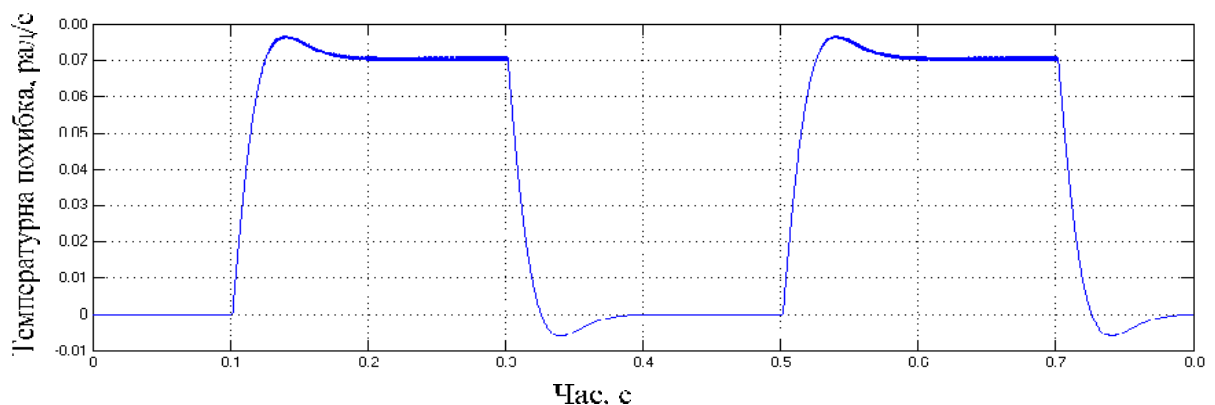


Рис.3 Температурна похибка КВГ

Висновки

На основі залежностей коефіцієнту жорсткості та коефіцієнту демпфування від температури отримано математичну модель КВГ з

урахуванням температурного впливу, яка є більш адекватною ніж описані раніше в літературі, тому що вона базується на адекватних твердженнях про природу впливу температури на елементи та середовище КВГ. Також синтезовано чисельну комп'ютерну модель КВГ, яка дозволяє отримувати значення вихідного сигналу при будь-яких значеннях вхідної кутової швидкості та при будь-яких змінах температури.

Отримані математична та комп'ютерна моделі КВГ з урахуванням температурного впливу можуть бути застосовані при дослідженні температурної похибки, для її виділення, та при синтезі алгоритмів або пристроїв її компенсації.

Література

1. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы. – М.:Машиностроение, 2007 – 399с.
2. *Apostolyuk V.A.*, Dynamics of Coriolis Vibratory Gyroscopes in control systems // Системи управління навігації та зв'язку. – 2010. - №1(13). – с. 62 – 66.
3. *Apostolyuk V.A.*, Optimal filtering of stochastic disturbances for Coriolis Vibratory Gyroscopes// Інформаційні системи, механіка та керування №3, 2009. - с. 20 – 30.
4. *Головатий А.О.* Моделювання впливу коливань кутової швидкості і температури на динамічні характеристики мікромеханічного гіроскопа камертонного типу // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. № 629 – Львів:Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2008. – с. 58-65.
5. *Кулик В.О.* Алгоритмічна компенсація похибок мікромеханічних датчиків кутової швидкості// Збірник доповідей VI міжнародної н.-т. конференції: Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. Ч.1. 2007. – с. 153 – 158.
6. *Барулина М.А.* Температурные и технологические погрешности микромеханических гироскопов. – диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Саратов, 2004 – 173 с.