

УДК 621.45.017

Медведчук Ю.О., студент гр. ПГ-81мп, Сапегін О.М.
 КПІ ім. Ігоря Сікорського

ДВОМАСОВИЙ МІКРОМЕХАНІЧНИЙ ГІРОСКОП

Анотація. У проведено розробку тривимірної конструкції мікромеханічного гіроскопа. Проведено імпорт отриманої 3D моделі приладу в систему MATLAB. Проведено моделювання роботи мікромеханічного гіроскопа в умовах вібрації та показано, що такий гіроскоп може бути датчиком як кутової швидкості так і прискорення.

Ключові слова: мікромеханічний гіроскоп, ММГ, вторинні коливання інерціальний вимірювальний модуль.

ВСТУП

В навігаційних системах та системах стабілізації і керування рухом основними датчиками первісної інформації про кутові та лінійні переміщення об’єкту є гіроскопічні прилади різних типів і акселерометри. З розвитком мікроелектронних технологій у наш час стало можливим використання їх для створення мініатюрних інерційних вимірювачів, що отримали назву мікромеханічних [1].

Діапазон застосування мікромеханічних інерційних датчиків надзвичайно широкий. Мікромеханічні датчики дозволяють створювати малогабаритні інерціальні навігаційні системи, інтегрувати їх із супутниковими навігаційними системами, та забезпечувати необхідну точність визначення положення та орієнтації різних рухомих об’єктів: літальних апаратів, морських об’єктів, наземних транспортних засобів [2]–[5].

ПРОГРАМНИЙ АЛГОРИТМ ММГ LL-ТИПУ

У роботі [6] наведено математичну модель одномасового мікромеханічного гіроскопа (ММГ) LL-типу

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2h_1\dot{x} + \left[k_1^2 - (u_{Yc}^2 + u_{Zc}^2) \right] x + 2u_{Yc}\dot{z} + u_{Xc}u_{Zc}z &= q_1 \\ \ddot{z} + 2h_2\dot{z} + \left[k_2^2 - (u_{Yc}^2 + u_{Xc}^2) \right] z - 2u_{Yc}\dot{x} - u_{Xc}u_{Zc}x &= q_2 \end{aligned} \tag{1}$$

Можна відмітити, що перше рівняння системи (1) описує первинні коливання інерційної маси (ІМ), викликані системою збудження, а друге – вторинні коливання, що виникає внаслідок дії зовнішньої кутової швидкості. В подальшому припускається, що інерційні маси і пружні елементи двомасового гіроскопа виготовлені ідентичними, тоді його динаміка буде описуватись двома системами (1). В такому випадку амплітуда первинних коливань другої ІМ буде мати протилежний знак.

РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ММГ

ММГ найчастіше працюють в умовах високочастотних вібрацій, тому доцільно використовувати багатомасові чутливі елементи. За основу приймемо модель ММГ запропоновану в роботі [7]. На її основі було розроблено тривимірну модель двомасового ММГ LL-типу у середовищі SolidWorks. В конструкції застосовано додатковій пружній елемент, що пов’язує рухомі

рамки, за допомогою якого синхронізуються частоти коливань інерційних мас. Модель створена за приблизними розмірами чутливих елементів (рис.1).

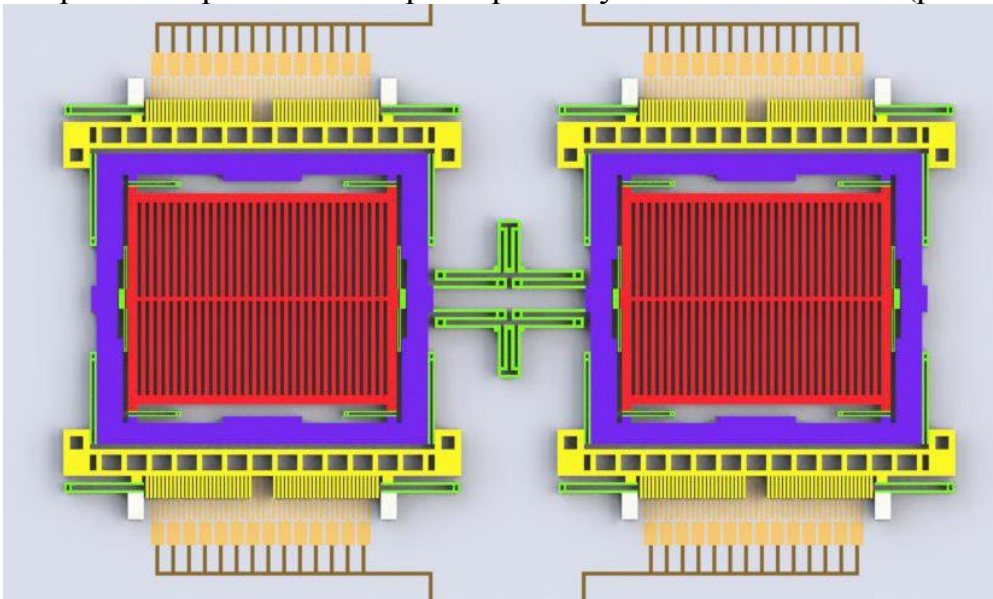


Рис. 1. 3D-макет гіроскопа

ІМПОРТ 3D МОДЕЛІ В СИСТЕМУ MATLAB

Для наочності моделювання, імпортуємо створену у SolidWorks 3D модель гіроскопа до середовища Matlab, використовуючи Simscape Multibody Link Plug-In. За допомогою нього формується XML файл, що містить інформацію про тривимірні об'єкти, взаємозв'язки та прив'язки моделі гіроскопа. В результаті отримано програмну модель двомасового ММГ, що поєднує в собі можливість інтегрувати диференційні рівняння руху у Matlab–Simulink та одночасно спостерігати за рухом 3D моделі (рис.2).

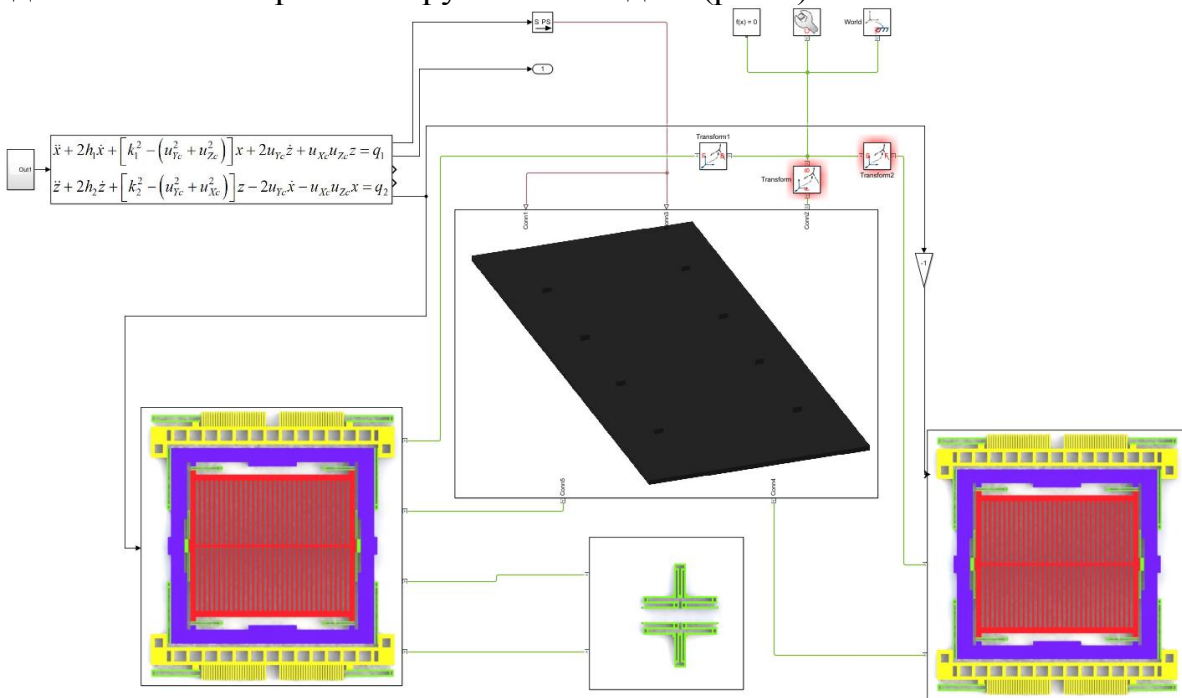


Рис. 2. Модель ММГ у Simulink

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Створена модель дозволяє проводити різноманітні дослідження динаміки ММГ. Відповідно до роботи [7], вихідним сигналом ММГ є інформація про вторинні коливання ІМ. Його можна формувати за двома законами: $Z1-Z2$ та $Z1+Z2$. Перший закон містить інформацію про кутову швидкість обертання основи, а другий – про лінійне прискорення.

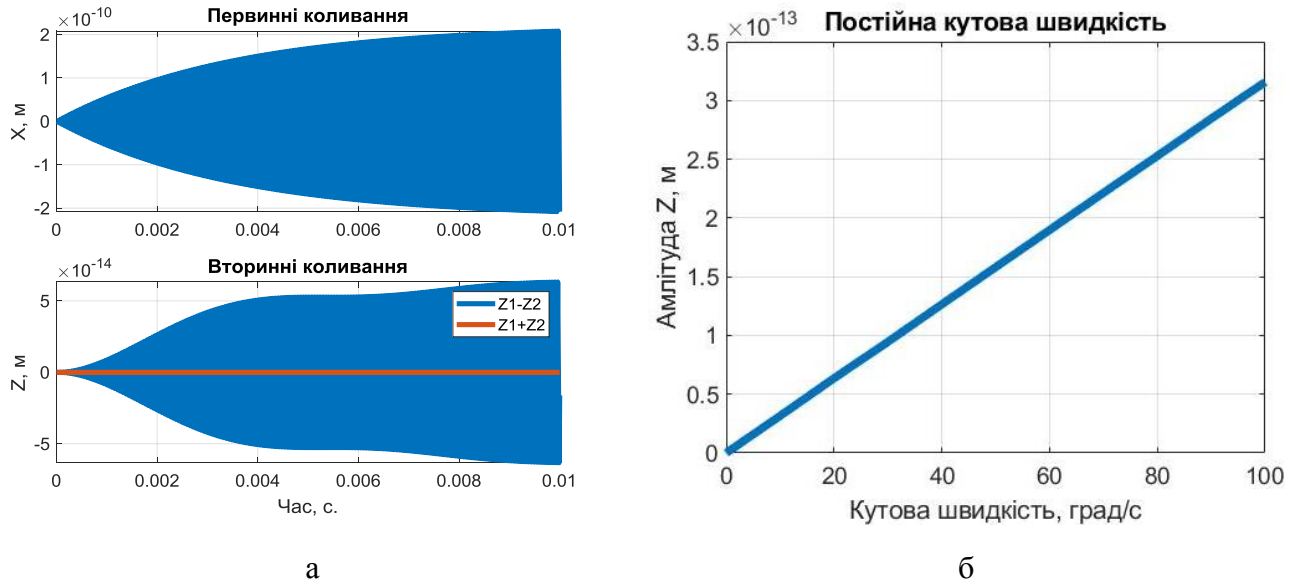


Рис.5. Двомасовий ММГ при постійній кутовій швидкості: *а* – коливання ІМ; *б*–залежність вторинних коливань від кутової швидкості

Результати моделювання, представлені на рис.5 *а* показують характер первинних та вторинних коливань ММГ при постійній кутовій швидкості. На рис.5 *б* представлена залежність величини амплітуди вторинних коливань ІМ при збільшенні кутової швидкості.

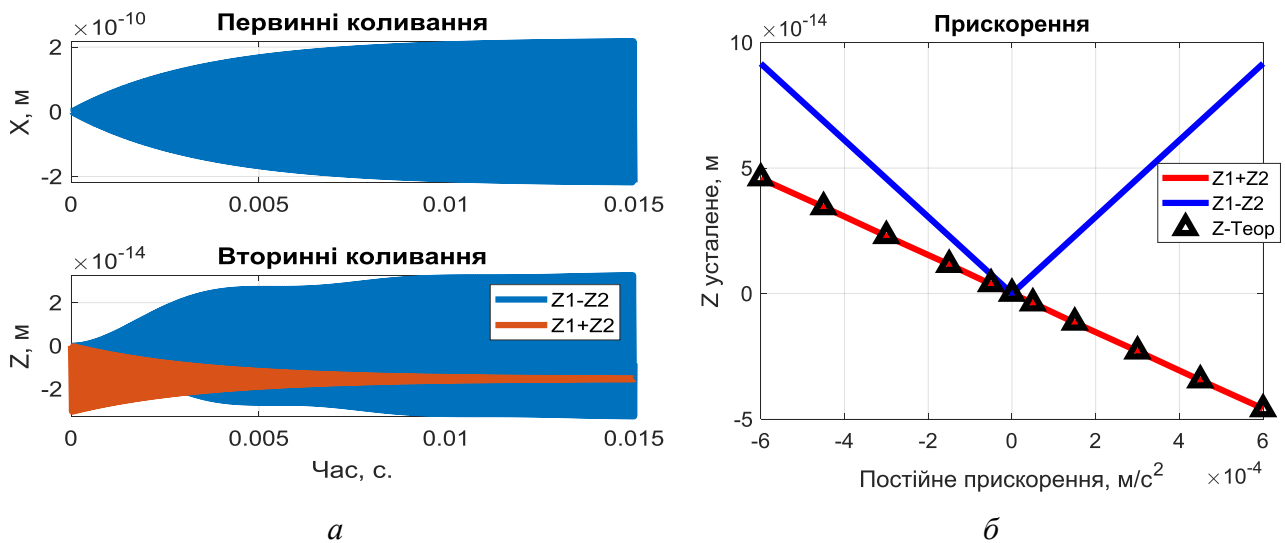


Рис.6. Двомасовий ММГ при постійному прискоренні: *а* – коливання ІМ; *б* – залежність вторинних коливань від прискорення

На рис.6 *а* показано, що використання закону $Z1+Z2$ дозволяє побудувати на базі двомасового ММГ прилад для вимірювання прискорення, оскільки

амплітуда вторинних коливань пропорційна йому. З рис.6 видно, що амплітуда вторинних коливань ЧЕ зростає при збільшенні кутової швидкості основи, а встановлене значення коливань ЧЕ гіроскопа зміщується відносно початкового на величину $Z_T = \frac{W_z}{k_2^2}$. Результати моделювання співпадають з аналітично розрахованими.

ВИСНОВКИ

В роботі досліджувався двомасовий мікромеханічний гіроскоп L-L типу. Під час програмного моделювання було проаналізовано адекватність моделі та розглянуто рух чутливого елемента гіроскопа при різному русі основи. В цілому моделювання показало збіжність результатів із описаними в літературі. Було встановлено, що використання двомасової схеми дозволяє повністю компенсувати вплив гармонічного прискорення на рух інерційних мас ММГ. Крім того використання таких диференціальних схем побудови ММГ дозволяє використовувати його як датчик прискорення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В. Я. Распопов, Микромеханические приборы. Учебное пособие. М: Машиностроение, 2007.
- [2] С. С. Сысоева, “Тенденции рынка High-end МЭМС-датчиков инерции. Новые уровни характеристик и исполнения,” Компоненты и технологии, no. 6, pp. 40–46, 2014.
- [3] А. Н. Сапегин and М. В. Норенко, “Бесплатформенная инерциальная навигационная система на основе прецизионных микромеханических датчиков,” in Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение», 2016, pp. 120–122.
- [4] G. T. Schmidt, “GPS Based Navigation Systems in Difficult Environments,” *Giroskopiya i Navig.*, vol. 27, no. 1, pp. 3–21, 2019.
- [5] V. M. N. Passaro, A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, “Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 10, 2017.
- [6] Ю. Ф. Лазарев and П. М. Бондар, Основы теорії чутливих елементів систем орієнтації, 1st ed. Київ: НТУУ “КПІ,” 2011.
- [7] С. Л. Лакоза, “Інерціальна система оцінки параметрів руху людини,” Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017.

Наук. керівник – асистент Сапегін О.М.