

Проведено аналіз динамічних характеристик об'єкта в часовій та частотній області. На основі математичної моделі створена програмна модель в середовищі Simulink, визначено передатну функцію регулятора за критерієм H_∞ , проведено моделювання роботи робастної системи.

Ключові слова: система орієнтації, система керування, супутник, моделювання.

УДК 629.058: 623.465.34:531.383

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАЗНОСТІ АМПЛІТУДИ ВУЗЛА ТА ПУЧНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНОГО МЕТАЛЕВОГО РЕЗОНАТОРА У СКЛАДІ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПА

¹⁾Головач С. В., ²⁾Строкач Г. Ю.

¹⁾АТ «Елміз», Київ, Україна,

²⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: golovach.s@meta.ua; gr.strokach@gmail.com

Основою роботи твердотільного вібраційного гіроскопа (ТВГ) є постійне збудження коливань у твердому тілі – резонаторі [1]. Залежно від характеру мод вібрації резонатора, ТВГ поділяються на два типи [2]: 1-ий тип – моди вібрацій різні (камертонний, балочний резонатор); 2-ий тип – моди вібрацій ідентичні (напівсферичні, циліндричні оболонки). В українській промисловості набули поширення гіроскопи другого класу. Точність таких датчиків залежить від якості виготовлення їх чутливого елементу (ЧЕ), який складається з таких основних деталей: резонатор, основа, гермовиводи, збуджуючі елементи, накривка. Резонатор, як основна деталь ЧЕ середнього та високого класу точності, виготовляється з плавленого кварцу [3] або металу [4]. У випадку з металевим ЧЕ, для досягнення високої точності і прийнятної вартості, виробники у якості матеріала резонатора використовують інварні сплави сталі.

При виготовленні резонаторів ЧЕ з інварних сплавів виникають неоднорідності розподілу мас та жорсткості по окружній координаті резонатора. Це призводить до розщеплювання резонансної частоти [5] та, відповідно, зменшення добротності, параметра від якого в основному залежить точність подальшого виробу. Значне зменшення цих дефектів можливо досягнути за допомогою операції балансування. Така технологічна операція виконується шляхом зняття мас з визначених точок дебалансу, що розташовані, як правило, на ефективній віброуючій масі резонатора і є ітеративною, тобто повторюється багато разів до досягнення необхідного ефекту. Вказані точки розраховуються за параметрами, які визначаються на основі вимірювань стандартної лабораторної апаратури, що складається з мультиметрів, осцилографа, генератора сигналів та комутуючого блока. До параметрів дебалансу належать: резонансна частота коливань, амплітуда коливань вузла та

пучності резонатора (рис.1), різночастотність, різнодобротність, фазність сигналів з вузла та пучності, кути позиціювання незбалансованих мас. Операції вимірювання при такому балансуванні виконуються оператором і є досить кропітким процесом, що вимагає значних затрат часу та уваги.

Автоматизація вимірювання параметрів дебалансу здатна суттєво зменшити витрати часу та кількість ітерацій за рахунок запобігання помилок оператора. При цьому, одним з запропонованих способів такої автоматизації є заміна стандартної електронно-вимірювальної апаратури на нестандартний управляючий електронний блок на основі сигнального мікропроцесора, що програмно керується оператором ПК. Сигнальний мікропроцесор виконує формування завдання по збудженню коливань через АЦП та підсилювач, а вихідні коливання резонатора реєструються за допомогою ЦАП. На рис. 1 показано схему резонатора з чотирма парами електродів (А,В,С,В), які збуджують та реєструють коливання резонатора. Збудження відбувається парою електродів А1-А2. Реєстрація амплітуди коливань – парою В1-В2 (вузол) та С1-С2 (пучність). Для оцінки різночастотності необхідно змінювати електроди збудження та зчитування. Ця зміна виконується шляхом переміщення на сусідні електроди: В1-В2 – збудження; С1-С2 – вузол; D1-D2 – пучність. Перший описаний спосіб підключення називають «канал 1», другий – «канал 2». Таким чином, автоматизується функціонал генератора частот, мультиметрів та комутуючого блока.

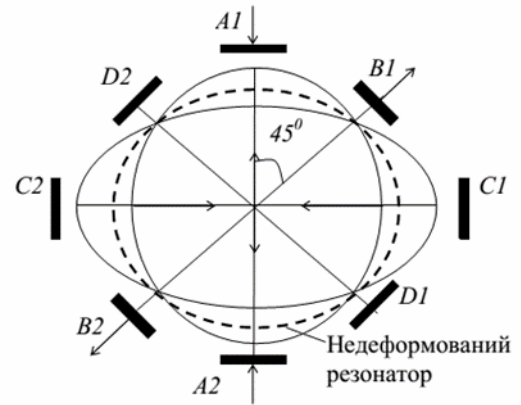


Рис. 1. Схема електродів на резонаторі

Для автоматизації визначення фазності сигналу пучності та вузла, розглянемо за яким принципом відбувається класифікація фазності. Фазністю вихідних сигналів збудженого резонатора називають зсув синусоїд вихідних сигналів амплітуд з вузла та пучності відносно один одного. Коли сигнал з пучності по відношенню до сигналу з вузла має фазовий зсув менше 45° , то такий випадок називається синфазністю. Коли сигнал з пучності по відношенню до сигналу з вузла має фазовий зсув 90° – протифазністю. Схематично вигляд сигналів фазності та протифазності, що спостерігається за допомогою осцилографа, показано на рис. 2.

Виходячи з поняття визначення фазності вихідних сигналів резонатора запропоновано спосіб автоматичного визначення фазності вузла та пучності каналів за допомогою введення системи лічильників, що застосовуються для великої кількості періодів коливань (не менше 1000) які описані системою рівнянь:

$$\begin{cases} (A_N \geq 0 \wedge A_{AN} \geq 0) \vee (A_N \leq 0 \wedge A_{AN} \leq 0) \Rightarrow PhasePlus = PhasePlus + 1 \\ (A_N > 0 \wedge A_{AN} < 0) \vee (A_N < 0 \wedge A_{AN} > 0) \Rightarrow PhaseMinus = PhaseMinus + 1 \end{cases}$$

де A_N , A_{AN} – дискретизовані значення сигналів амплітуд коливань вузла та пучності в кодах АЦП відповідно; $PhasePlus$ – лічильник кількості співпадінь знаків A_N, A_{AN} ; $PhaseMinus$ – лічильник для випадків не співпадінь. За результатами роботи лічильників розраховується фазовий коефіцієнт (ФК):

$$ФК = PhaseMinus / PhasePlus.$$

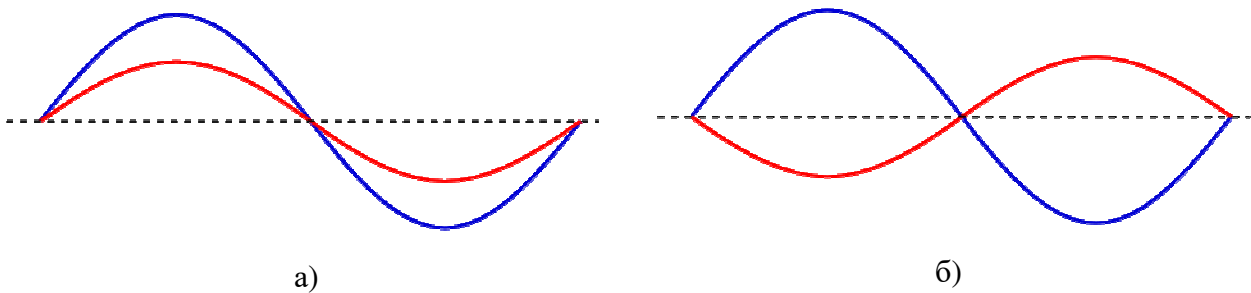


Рис. 2. Схематичний вигляд положення вихідних сигналів у випадку, де:
а) фазності; б) протифазності

Отже, очікується, що при $ФК > 1$ сигнали амплітуд пучності та вузла досліджуваного резонатора знаходяться в протифазності, а при $ФК < 1$ – у синфазності.

Для перевірки запропонованого способу визначення фазності, в якості дослідних зразків, використовувалися ЧЕ для яких попередньо вже було визначено фазність обох каналів за допомогою осцилографа. Тестування проводилося для обох можливих значень фазності.

Автоматизоване вимірювання фазності запропонованого методу дало можливість виконати серію вимірювань ФК при зміні частоти збудження резонатора з кроком 0,01 Гц, що дозволило отримати графіки залежності між фазністю (вузла і пучності каналу) та близькістю до резонансної частоти. Як видно з рис. 3, рис. 4, такі залежності представляють собою практично монотонно зростаючі або спадаючі криві.

Поблизу резонансної частоти F_{res} помітно близькість ФК до 1, що може призводити до невизначеності фази запропонованим методом у деяких випадках. Проте при виконанні серії автоматизованих вимірювань для багатьох резонаторів у складі ЧЕ, вдалося встановити емпіричним шляхом наступне. Спадаюча крива залежності коефіцієнта ФК від частоти збудження є свідченням протифазності сигналів амплітуди вузла та пучності у каналі, а зростаюча крива – синфазності.

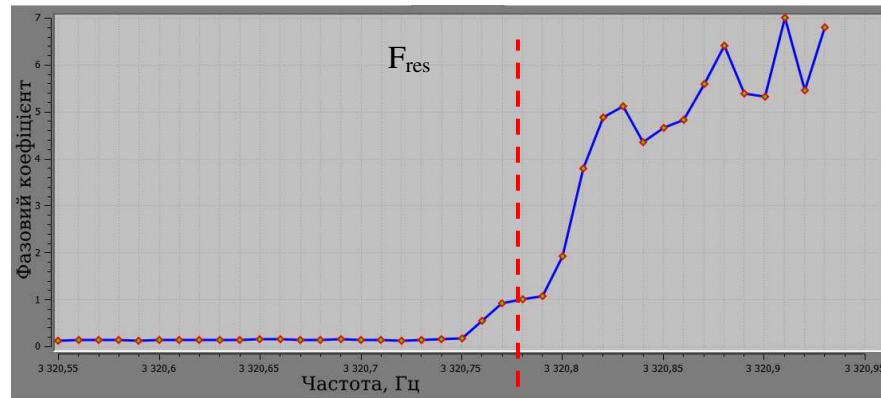


Рис. 3. Вимірювання ФК (випадок 1)

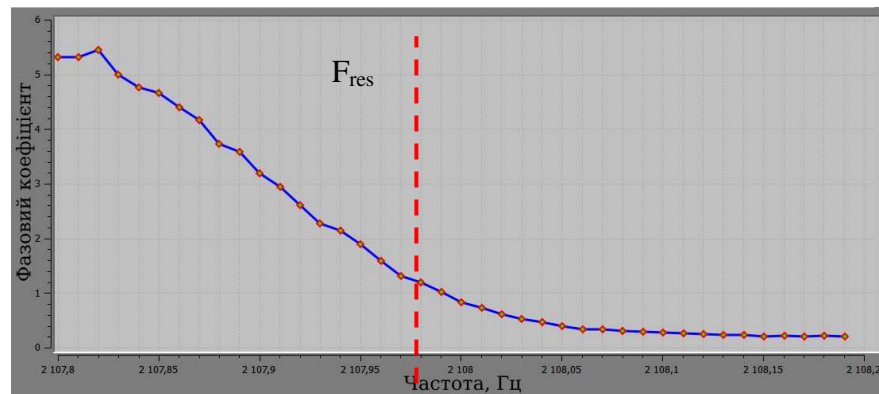


Рис. 4. Вимірювання ФК (випадок 2)

Висновки. Одиначне вимірювання запропонованим способом автоматичного визначення фазності за допомогою ФК не дає гарантію її правильного визначення. Виконання серії визначень ФК на частотах близьких до резонансної дає змогу отримувати криву, за трендом якої вже можна отримати результат, що повністю відповідає результатам визначення фазності ручним методом за допомогою стандартних приладів. Коректність запропонованого методу повністю підтверджено результатами експериментальних вимірювань на значній кількості реальних ЧЕ ТВГ в умовах виробництва.

Ключові слова: твердотільний вібраційний гіроскоп, ТВГ, балансування, фазність, автоматизація.

Література

- [1] D. D. Lynch, “Coriolis Vibratory Gyros”, in *Symposium Gyro Technology, Stuttgart, Germany*, 1998.
- [2] IEEE Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Coriolis Vibratory Gyros”// IEEE std.1431TM, Annex A, pp. 53-55, Dec. 2004.
- [3] D. M. Rozelle, “The hemispherical resonator gyro: From wineglass to the planets”, in *19th AAS AIAA Space Flight Mechanics Meeting*, vol. 134, pp. 1157–1178, 2013.
- [4] V.V. Chikovani, I. M. Okon, A.S. Barabashov, P. Tewksbury, “A Set of High Accuracy Low Cost Metallic Resonator CVG”, in *IEEE/ION: PLANS*, 5-7 May 2008, Monterey, CA, pp.112-115.
- [5] В. А. Матвеев, В. И. Липатников, А. В. Алехин, Проектирование волнового твердотельного гироскопа. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1997.