

УДК 621.375

Бондар П.М., к.т.н.

ОПТИМІЗАЦІЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ ХВИЛЬОВОГО ТВЕРДОТІЛЬНОГО ГІРОСКОПА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Дана стаття присвячена дослідженню резонаторів твердотільних хвильових гіроскопів з п'єзоелектричною системою позиційного збудження власних коливань резонатора методом кінцевих елементів. Розглянуто вплив розміщення елементів п'єзоелектричних систем збудження на величину радіальної деформації і осьового зміщення резонатора в статичному режимі. Для визначення деформації резонатора була використана температурна аналогія п'єзоефекту. Наведені рекомендації по розташуванню п'єзоелектричних елементів на поверхні дна пружного підвісу.

Ключові слова: хвильовий твердотільний гіроскоп, система збудження, п'єзоефект, метод кінцевих елементів.

Вступ

В хвильових твердотільних гіроскопах (ХТГ) для збудження та підтримання стоячої хвилі використовують власні контури позиційного збудження та підтримання коливань.

Резонатор досліджуваного ХТГ (рис. 1) висотою 24 мм і діаметром 43 мм являє собою металеву циліндричну оболонку, що складається з вільного масивного накопичувача коливань 1 у вигляді кільця і пружного підвісу – стакана 2 зі складною структурою дна. На дні розміщена п'єзоелектрична система збудження [1], яка складається з двох радіально закріплених плоских п'єзокерамічних пластинок 3 і 4. П'єзоелектричні датчики відносяться до електронно-механічних пристроїв резонансного типу. Важливими параметрами, що визначають якість їхньої роботи, є власні частоти, амплітуди коливань, добротність при малих габаритах.

Постановка задачі

Задача дослідження полягала у виборі оптимального розміщення п'єзоелементів для забезпечення ними максимальної деформації нижньої кромки резонатора. Для цього в статичному режимі методом кінцевих елементів визначалася деформація кромки кільця Δu та Δx по координатах y та x (рис. 2) в залежності від розміщення п'єзоелементів в радіальному напрямку уздовж осі x на дні резонатора (відстані l від осі симетрії z).

Для забезпечення бажаної точності результатів моделювання в пакеті ANSYS резонатор був розбитий на кінцеві елементи кубічної форми (рис. 3).

Оскільки в використаному для досліджень пакеті ANSYS/Workbench версії 12.0 неможливо змодельовати реакцію п'єзоелементів на дію напруги збудження та її вплив на деформацію резонатора, для визначення деформації кільця була використана температурна аналогія п'єзоефекту. Основою для такого підходу є ідентичність адитивних членів в узагальненому законі Гука для вільної температурної деформації αT і для планарної п'єзоелектричної деформації βU п'єзокерамічної пластинки, поляризованої по товщині. Тут α – температурний коефіцієнт лінійного розширення, T – зміна температури, $\beta = d_{31}/h$ – п'єзоелектричний коефіцієнт лінійного розширення, який залежить від п'єзомодуля d_{31} і товщини h п'єзоелемента.

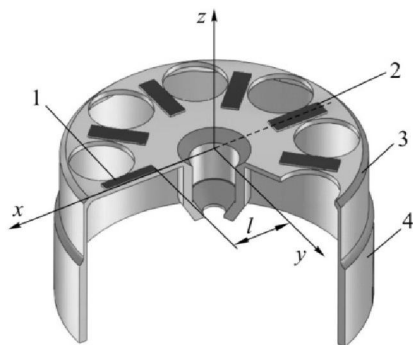


Рис. 1. Резонатор хвильового твердотільного гіроскопа

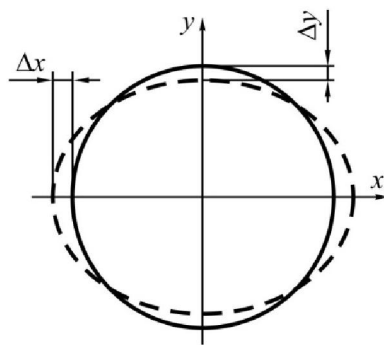


Рис. 2. Деформації резонатора по осях x і y

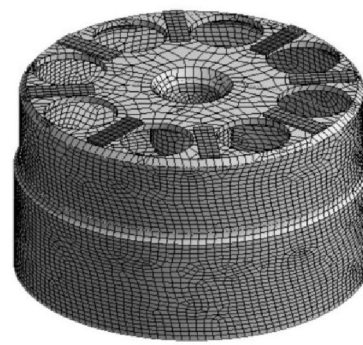


Рис. 3. Розбиття резонатора на кінцеві елементи

Замість напруги збудження при моделюванні до п'єзоелементів прикладалася температура 200 °С. Температурний коефіцієнт лінійного розширення п'єзоелемента α дорівнював його п'єзоелектричному коефіцієнту лінійного розширення β . Для матеріалу резонатору температурний коефіцієнт обирався нульовим.

Основний матеріал досліджень

Для дослідження напружено-деформованого стану елементів резонатора й оцінки прогинів були проведені розрахунки методом кінцевих елементів моделі, показаної на рис. 3, у статичному режимі з використанням температурної аналогії п'єзоэффекта. Розглядався вплив відстані від торцевої частини п'єзоелементу до геометричної осі симетрії резонатора на характер статичної деформації кромки кільця циліндричного накопичувача, а також на його зміщення вздовж осі z . Геометричні розміри плоских п'єзокерамічних пластинок дозволяють розміщувати їх на дні між циліндричними отворами на відстані від 9 мм до 16 мм від осі симетрії. Для кращого відображення результатів розглядалися переміщення по кожній осі окремо. Результати моделювання приведені в таблиці 1 та на рис. 3. Окрему увагу було приділено виявленню зон локальних напружень і деформацій в елементах підвісу, які можуть спричинити появу додаткових коливань резонатора на неосновних модах коливань.

Таблиця 1

| Результати моделювання | | | | | | | | |
|---|------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| Відстань l , мм | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Переміщення кромки резонатора Δx [м·10 ⁻⁶] | 0,69 | 0,996 | 1,18 | 1,41 | 1,61 | 1,74 | 1,77 | 1,88 |
| Переміщення кромки резонатора Δy [м·10 ⁻⁶] | 0,73 | 0,78 | 0,99 | 1,15 | 1,36 | 1,49 | 1,59 | 1,62 |
| Переміщення резонатору вздовж осі z , [м·10 ⁻⁶] | 7,34 | 6,14 | 4,9 | 3,36 | 1,7 | 0,15 | -1,9 | -3,12 |
| Деформація обичайки резонатору під впливом п'єзоелементів, м·10 ⁻⁶ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,232 | 0,737 | 1,01 | 1,08 |

Графіки залежності переміщення кромки резонатора від розміщення п'єзоелементів показані на рис. 5. З них випливає, що при зміщенні п'єзоелементів в напрямку краю дна по координаті x радіальна деформація кромки резонатору збільшується за експоненціальним законом.

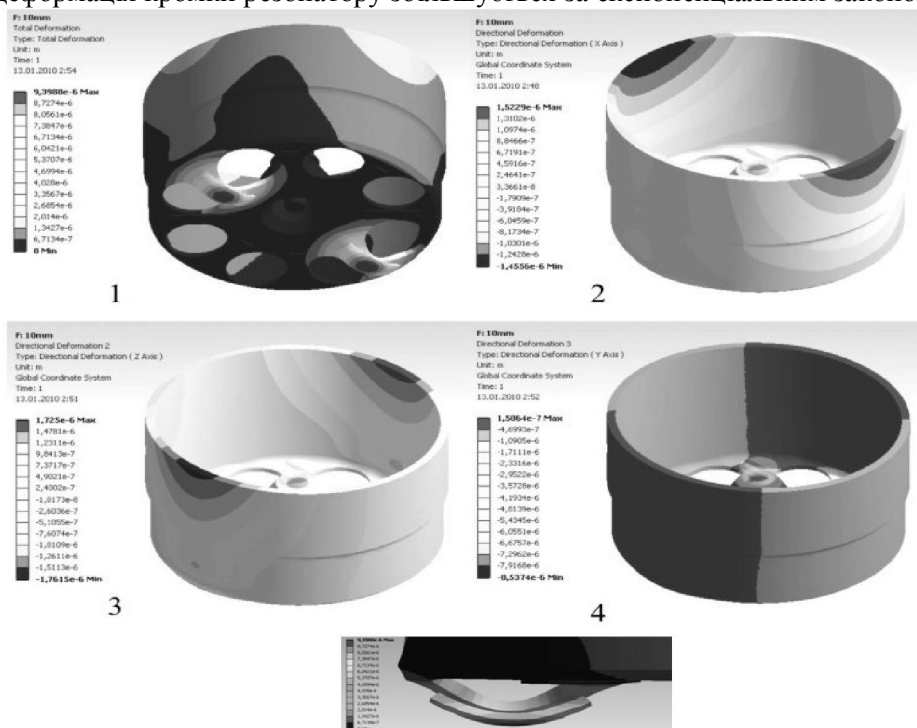


Рис. 4. Приклади моделювання при $l=14$ мм:

1 – повна деформація; 2 – деформація по осі y ; 3 – деформація по осі x ; 4 – зсув по осі z ;

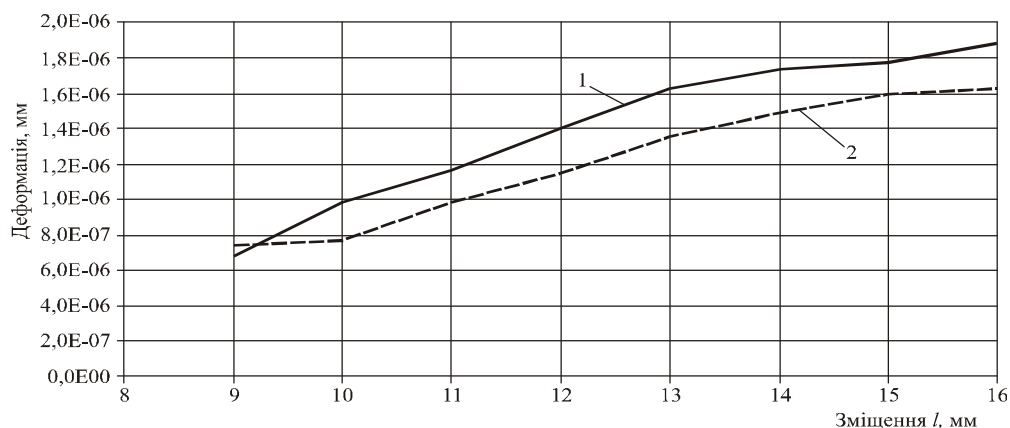


Рис. 4. Середнє значення переміщення кромки резонатору по осям x , y : 1 - Δx ; 2 - Δy

При моделюванні виявлена також суттєва залежність зміщення резонатору відносно точки закріплення в напрямку осі z від відстані l (рис. 5, 6). Це зміщення може стати причиною появи лінійних коливань резонатора в напрямку осі z , тому є небажаним. При відстані $l = 14$ мм переміщення резонатору вздовж осі z близьке до 0.

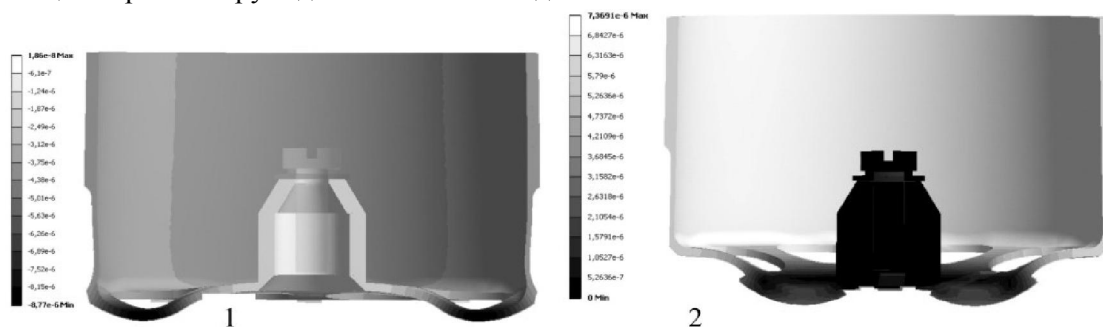


Рис. 5. Максимальне переміщення резонатору по осі z : 1 – при $l=14$ мм ; 2 – при $l=9$ мм

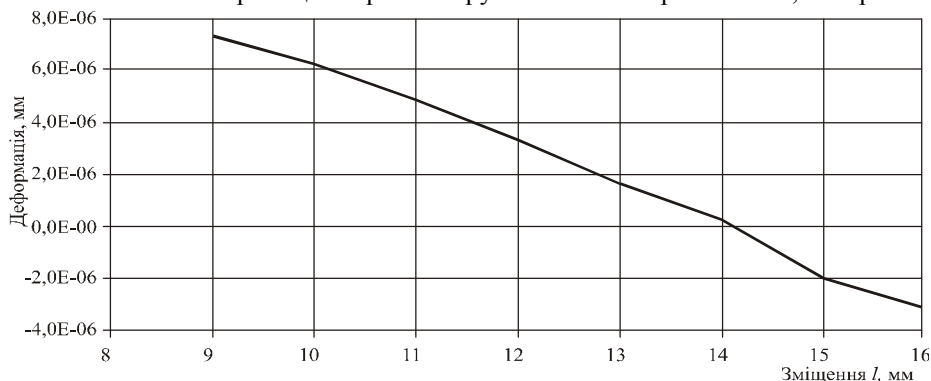


Рис.6. Переміщення резонатора по осі z в залежності від розміщення п'єзоелементів

В той же час при близькому розміщенні п'єзоелементів до зовнішнього краю дна резонатору ($l=16$ мм), спостерігається небажана деформація стінки циліндру, яка не тільки впливає на що може призвести до збудження вищих форм коливань (рис. 7,8).

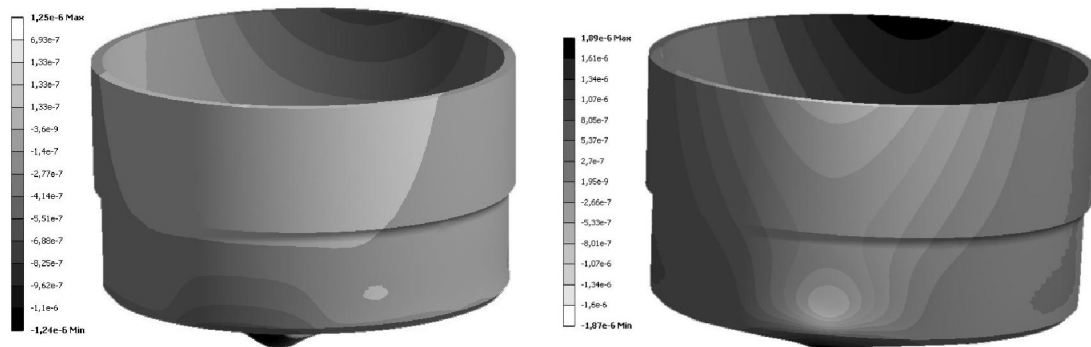


Рис. 7. Деформація обичайки резонатору під впливом п'єзоелементів: 1 – при $l=9$ мм ; 2 – при $l=14$ мм

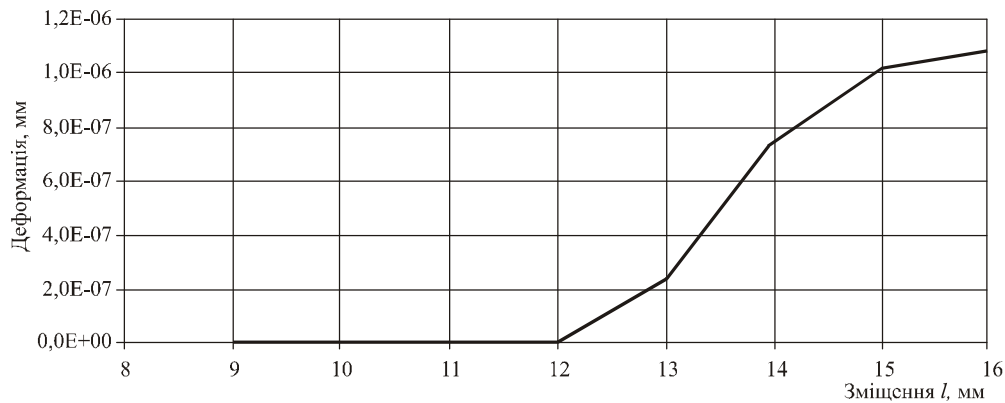


Рис. 8. Деформація обичайки резонатора

На рис. 9 показаний приблизний діапазон для оптимального розміщення п'єзоелементів на дні пружного підвісу.

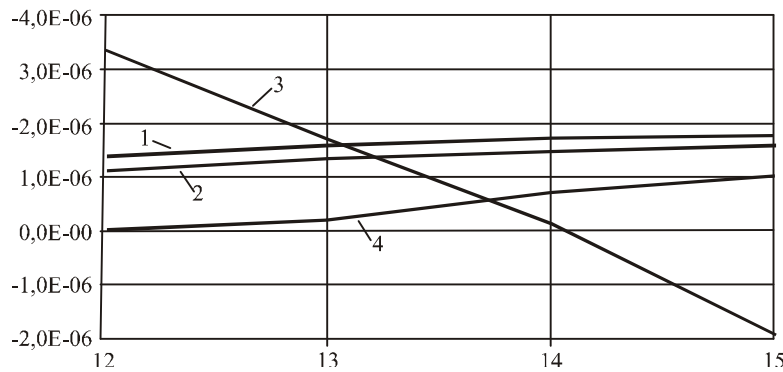


Рис. 9. Деформація окремих ділянок резонатора

- 1 - середнє значення максимального переміщення кромки резонатора по осі y ;
- 2 - середнє значення максимального переміщення кромки резонатора по осі x ;
- 3 - максимальне переміщення резонатора по осі z ;
- 4 - деформація обичайки резонатора

Висновки

Оцінені вплив розміщення п'єзоелементів на дні резонатора на ефективність системи збудження коливань та характер руху резонатора під їх дією в осьовому та радіальному напрямках.

Отже, при виборі розміщення п'єзоелементів необхідно керуватися наступними критеріями:

- чим ближче розташовані п'єзоелементи до зовнішнього краю дна чутливого елемента, тим більша амплітуда коливань спостерігається на кромці резонатора та зменшується різниця амплітуд між пучностями розташованими по одній осі. При розрахунках дана похибка викликана нерегулярною сіткою кінцевих елементів, а в реальних резонаторах анізотропією матеріалу;
- при близькому розміщенні п'єзоелементів до внутрішнього краю коливання резонатора по осі z мають досить велику амплітуду, а при $l=14$ мм близькі до 0.
- при близькому розміщенні п'єзоелементів до зовнішнього краю дна резонатора ($l=13...16$ мм) спостерігається небажана деформація стінки циліндру, що призводить до погіршеної передачі коливань на кромку чутливого елемента.
- найкращим варіантом розміщення п'єзоелементів є відстань $\approx 2/3$ від діаметра резонатору.

Список літературних джерел

1. Бондар П.М., Бакалор Т.О. Яценко Ю.А. Анализ колебаний резонатора кориолисова вибрационного гироскопа. Вісник Черкаського державного технологічного інституту №3, 2005