

УДК 681.586

Тищенко Б.Ю., студент гр. ПГ-п81
КПІ ім. Ігоря Сікорського

МІКРОМЕХАНІЧНІ АКСЕЛЕРОМЕТРИ ДЛЯ РОБОТИ В УМОВАХ ВІБРАЦІЙНИХ ТА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Анотація. В роботі основні фактори, що впливають на точність вимірювання мікроакселерометрами. Аналізуються варіанти зменшення впливу вібраційних та ударних навантажень на чутливий елемент датчика. Запропоновано використання термічного акселерометра та розглянуто його принципову схему. Проаналізовано технічні характеристики. Побудовано графіки частотних характеристик мікроакселерометра.

Ключові слова: МЕМС-датчик, акселерометр, динамічна модель.

ВСТУП

Якщо розглянути акселерометри у сфері, де на апаратуру чи систему діють вібраційні навантаження, або навіть ударні навантаження, то слід відзначити [2], що звичайні МЕМС-акселерометри (на поверхні кремнієвої підкладки вирощується мембрана і при виникненні прискорення в напрямку перпендикулярному мембрані, виникає деформація вгору або вниз і в залежності від цього ємність конденсатора збільшується або зменшується), в яких основним чутливим елементом (ЧЕ) є мікромеханічна інерційна маса, працюючи в таких умовах несуть за собою декілька негативних наслідків.

Найперший з них – при частоті, близькій до резонансу, виникає ефект постійного прискорення, коли мембрана без наявності реального прискорення буде мати деформований стан. По-друге, при наявності потужних вібрацій ЧЕ може зруйнуватися або деградувати. Деградація може початися і при значних ударних навантаженнях. По-третє, при поступовій деградації все калібрування, зроблене раніше, виявляється порушеним, і датчик починає видавати невірні показання. Остання - звичайні МЕМС схильні до старіння, як і всі рухомі механізми - це виражається в зменшенні чутливості з часом, особливо при наявності сильних прискорень протягом експлуатації.

МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є аналіз можливих конструктивних рішень для забезпечення роботи мікромеханічних акселерометрів в умовах інтенсивних вібраційних та ударних навантажень.

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ МІКОМЕХАНІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Для боротьби із вищезгаданими негативними ефектами [3], що виникають при роботі МЕМС-датчиків в складних динамічних умовах, виробники мікромеханічних датчиків вдаються до різних конструктивних ускладнень. Розглянемо один з підходів, що полягає у кардинально іншій побудові чутливого елемента датчика і створенні термічного МЕМС-акселерометра. Елементарна комірка при цьому має герметичну структуру з нагрівачем і датчиками температури.

У спрощеному вигляді принцип роботи такої структури полягає в наступному: нагрівач створює нагрів молекул газу в камері, а два надчутливі датчики, які рознесені на визначену відстань, фіксують диференціальну

температуру цього газу. Навіть при найменшому прискоренні або повороті основи відбувається зміна числа молекул, що вдаряються об поверхню датчиків температури. Наприклад, при повороті чутливого елемента за годинниковою стрілкою кількість молекул, що потрапляють на датчик ліворуч, зменшиться, а на датчик праворуч - зросте. По різниці показань можна визначити прискорення. Така система не має механічних рухомих частин, а отже теоретично вільна від виникнення резонансу і нечутлива до ударних навантажень.

Як висновок, дана структура базової комірки акселерометра має такі переваги:

- відсутність частоти резонансу і стійкість до вібрацій в широкому діапазоні частот;
- максимальна стійкість до ударних навантажень (до 50 000 g);
- немає ефекту залипання;
- температурна і часова стабільність;
- не вимагають особливої технології виробництва.

Розглянемо, наприклад, мікромеханічний акселерометр MXP7205VF [1], який вимірює прискорення по двом взаємно перпендикулярним осям. Пристрій є повноцінною двовісною системою вимірювання прискорення, виготовленою на основі монолітного КМОП-процесора. Робота приладу заснована на передачі тепла шляхом природної конвекції та працює як інші акселерометри з інерційною масою, за винятком того, що це газ у датчику MEMS. Одне джерело тепла, сконцентроване в кремнієвій мікросхемі, підвішене через порожнину. Термоелементи з алюмінієм / полікремнієм з однаковою віддаленістю (групи термопар) розташовані на однаковій відстані з усіх чотирьох сторін джерела тепла (двовісна вісь). При нульовому прискоренні градієнт температури симетричний відносно джерела тепла, так що температура однакова на всіх чотирьох термополях, внаслідок чого вони видають однакову напругу.

Прискорення в будь-якому напрямку призведе до порушення температурного профілю через вільну конвекційну передачу тепла, що спричинить його несиметричність. Тоді температура, а отже, і вихідна напруга чотирьох термоелементів будуть різними. Диференціальна напруга на виходах термоелемента прямо пропорційна прискоренню. На MXP7205VF є два однакові шляхи сигналу прискорення, один для вимірювання прискорення по осі x та інший для вимірювання прискорення по осі y.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики акселерометра MXP7205VF

<i>№ п/п</i>	<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
1	Діапазон вимірювань	$\pm 5 \text{ g}$
2	Номінальна чутливість (14 bit)	800 LSB/g
3	Номінальна чутливість (10 bit)	50 LSB/g
4	Температурний дрейф (в діапазоні від -40°C до $+105^\circ \text{C}$)	4%
5	Перехресна чутливість	2%
6	Дрейф нуля (в діапазоні від -40°C до $+105^\circ \text{C}$)	$1 \text{ mg}/^\circ \text{C}$
7	Вимірювальний шум (СКВ в діапазоні від -40°C до $+105^\circ \text{C}$)	11 mg

Передатна функція датчика може бути представлена у вигляді добутку передатної функції чутливого елемента та цифрового фільтра Батерворта 2-го порядку. Власні частоти ЧЕ складають - 40 Гц та 85 Гц, номінальна частота зрізу фільтра - 44 Гц:

$$W(p) = \frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \cdot \frac{1}{(T_3 p + 1)^2} \quad (1)$$

Частотні характеристики, побудовані на основі (1) представлені на Рис.1.

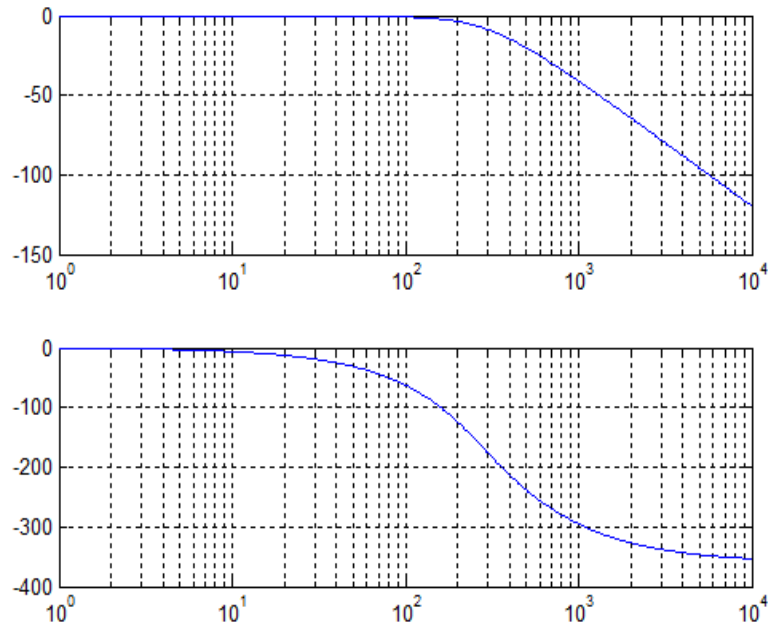


Рис. 1. Частотні характеристики датчика

ВИСНОВКИ

Смуга пропускання датчика на основі отриманих частотних характеристик складає від 0 до 150 рад/с. При високочастотних вібраційних навантаженнях датчик буде поводитись як фільтр низьких частот.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Технічна специфікація MXP7205VF:
<http://www.memsic.com/uploadfiles/2020/08/20200828130053176.pdf>
- [2] WEB-портал для разработчиков електроніки
<https://www.terraelectronica.ru/news/4320>
- [3] WEB-портал для разработчиков електроніки
<https://www.terraelectronica.ru/product/2195706>

Наук. керівник – Мураховський С.А.