

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України "КПІ"
В.С. Михаленко, магістр
Житомирський державний технологічний університет

ЄМНІСНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

Акселерометр – це пристрій, що вимірює прискорення або ступінь зміни швидкості щодо часу. Акселерометри бувають різних форм та розмірів. На сьогоднішній день існує багато різних типів мікроакселерометрів, але найпоширенішими є ємнісні інтегральні пристрої вимірювання прискорення. Такі акселерометри відрізняються доволі простою реалізацією з використанням МЕМС технологій.

Від промисловості до освіти, акселерометр має велику область застосування. Ця область простягається від запуску повітряної камери до контролю ядерних реакторів. Акселерометри використовуються для вимірювання статичного прискорення (гравітація), похилого положення об'єкта, динамічного прискорення, ривків об'єкта, швидкості, положення і вібрації об'єкта.

Акселерометри стають все більш і більш поширеними: стільникові телефони, комп'ютери та побутова техніка вже зараз комплектуються акселерометрами. Інші області практичного застосування: вимірювання характеристик автомобіля, вимірювання вібрацій машин, контроль пересувань розвідних мостів.

Метою роботи є підвищення точності вимірювання прискорення шляхом дослідження та удосконалення ємнісного акселерометра.

До складу всіх акселерометрів входить спеціальний елемент – інерційна маса, рух якої відстає від руху корпусу. І, незалежно від конструкції датчика прискорення, його основна мета полягає у детектуванні переміщення цієї маси відносно корпусу пристрою і перетворення його у пропорційний електричний сигнал. Тому іншою складовою частиною всіх акселерометрів є детектор переміщень, здатний вимірювати мікроскопічні амплітуди вібраційних коливань або лінійних прискорень. Ємнісний метод перетворення переміщень в електричний сигнал є найбільш перевіреним і надійним.

Ємнісний датчик прискорень складається, щонайменше, з двох пластин: стаціонарної, часто з'єднаної з корпусом, і вільно перемішуваної у середині корпусу, до якого приєднана інерційна маса. Ці пластини формують конденсатор, величина ємності якого залежить від відстані між ними, а значить і від прискорення руху, випробуваного датчика. Максимальне переміщення, яке визначається ємнісним акселерометром, рідко перевищує 20 мкм. Отже, в таких датчиках завжди необхідно компенсувати дрейф різних параметрів, а також пригнічувати всі можливі перешкоди. Тож зазвичай акселерометри мають диференціальну структуру, для чого в їх склад вводиться додатковий конденсатор, ємність якого повинна бути близька до ємності основного конденсатора. При цьому напруги на конденсатори подаються із зрушенням фаз 180°. Тоді величина прискорення датчика буде пропорційна різниці значень ємностей конденсаторів.

Вихідною величиною, яка дає інформацію про величину та напрям прискорення, є частота коливального контуру, яка визначається за формулою:

$$f_i = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_i}}, \quad (1)$$

де f_i – частота коливального контуру; C_i – ємність відповідної системи конденсаторів, L – індуктивність розділеної котушки.

Ємність відповідної системи конденсаторів, геометричні параметри якої змінюються під дією величини та напряму прискорення, визначається за формулою:

$$C_i = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \varepsilon_a S_i S}{d_i S \varepsilon_r + \varepsilon_a S_i (b - d_i)}, \quad (2)$$

де C_i – ємність відповідної системи конденсаторів; d_i – відстань між обкладками відповідного конденсатора; b – сума відстаней між обкладками першого та другого конденсаторів; S – площа рухомої обкладки; $\varepsilon_r, \varepsilon_a$ – діелектрична проникність відповідно повітря та діелектрика.

Параметри S_i та d_i змінюються залежно від величини та напряму дії прискорення.

На рис. 1, а показано поперечний переріз ємнісного акселерометра, в якому інерційна маса розміщена між верхньою кришкою та основою. Інерційна маса підтримується чотирма кремнієвими пружинами (рис. 1, б). Верхня кришка та основа відділені від інерційної маси. Всі три елемента виготовленні методами мікротехнологій на одній кремнієвій підкладці.

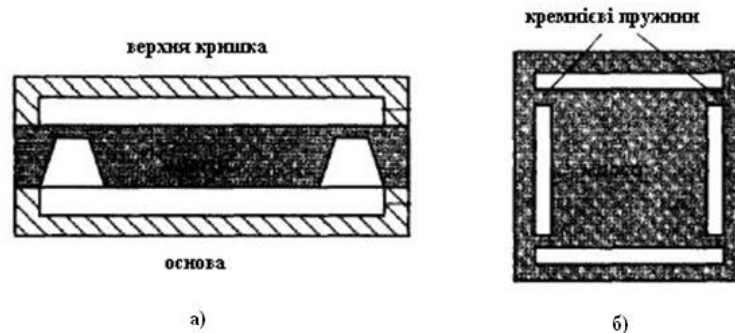


Рис. 1 Ємнісний акселерометр: а – поперечний перетин, б – вигляд зверху

Багато переваг і недоліків ємнісних датчиків випливають із їх фізичної природи. Ємнісні структури прості у конструюванні – в залежності від розміщення ємнісного чутливого елемента. Температурний дрейф конденсаторів невеликої ємності і, тому, схема температурної компенсації мінімальна. Ємнісні датчики забезпечують широкий робочий температурний діапазон.

Ємнісна техніка зчитування дозволяє легко електрично ізолювати структурні компоненти акселерометра, але отримана структура датчика в теорії не призначена для детектування великих переміщень і, отже, великих прискорень, оскільки ємності конденсаторів з великими відстанями між обкладками падають до значень, які складно виміряти.

Природа ємнісної структури також передбачає використання механічних обмежувачів переміщень маси при виході за робочі межі датчика (великих прискорень або частот, близьких до резонансної). Важливою властивістю ємнісних акселерометрів є те, що вони можуть протистояти ударам рівнями в 5000 м / с або вище.

Ємнісні акселерометри мають чутливість до забруднень і вологості і присутності поблизу пластинок різних матеріалів, що змінюють властивості діелектричного матеріалу, тому в різних галузях створюють акселерометри зі спеціалізованим дизайном.

Ємнісні акселерометри отримали широке поширення завдяки їх високій чутливості, стабільності при детектуванні статичного прискорення, малому дрейфу, низькій температурній чутливості, малій споживаній потужності, високій надійності, хорошим шумовим властивостями, точності вимірювання, низькій ціні.

Завдяки простоті конструкції та малим габаритам, використання мікротехнологій, та задовільній точності вимірювань ємнісні акселерометри набули найбільшого поширення в машинобудуванні та в транспорті, будівництві та енергетиці, в різних вимірювальних комплексах.

Отже, перевагами досліджуваного ємнісного акселерометра є:

- швидкий розвиток та вдосконалення приладу в світі;
- широке застосування та попит на ринку;
- простота конструкції;
- висока надійність в роботі;
- точність вимірювання прискорення;
- низька ціна матеріалів для виготовлення приладу;
- мала споживана потужність.