

АВІАЦІЙНА Й КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 621.317

¹ О. М. Безвесільна, д.т.н, проф., ² К. С. Козько, аспірант
³ Р. О. Демчук, магістрант

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЄМНІСНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

^{1,2} Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",
e-mail: bezvesilna@mail.ru³ Житомирський державний технологічний університет,
e-mail: roma.demchuk@meta.ua

У статті наведені конструктивні особливості ємнісного акселерометра

Ключові слова: ємнісний акселерометр, прискорення.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її актуальність. Одним із основних напрямків науково-технічного прогресу є удосконалення існуючих та створення нових засобів вимірювання: приладів та систем, які сьогодні, як правило, комп'ютеризовані. Велику роль у цьому відіграють наукові дослідження у галузі вимірювання механічних величин.

Акселерометри – це прилади для прийому і перетворення інформації про прискорення з метою одержання кількісного результату у формі, яка буде зручною для подальшого використання. Тобто, це датчики, які призначені для вимірювання прискорення об'єкта (кутового чи лінійного), що рухається. Акселерометри вимірюють прискорення, що є різницею між абсолютним лінійним прискоренням об'єкта та прискоренням сили тяжіння Землі.

На сьогоднішній день акселерометри масово виробляються на основі мікро-електромеханічних систем (МЕМС). В основі конструкції акселерометра – грузик (інертна маса), який переміщується у корпусі на пружині (або іншому пружному елементі), реагуючи на сили інерції, що виникають при прискоренні або уповільненні машини. Чим більше прискорення, тим більше відхиляється грузик. Коли сила інерції важко врівноважується силою пружини, величина його зсуву від нейтрального положення, що свідчить про величину прискорення (уповільнення), реєструється яким-небудь датчиком переміщення і перетворюється в електричний сигнал на виході приладу. Цей сигнал потім подається в електронний блок або бортовий комп'ютер для обробки.

Метою статті є відображення основних конструктивних особливостей ємнісних акселерометрів (ЄА).

Ємнісний датчик прискорень складається, принаймні, з двох пластин: стаціонарної, часто з'єднаної з корпусом, і вільно переміщуваної усередині корпусу, до якого приєднана інерційна маса. Ці пластини формують конденсатор, величина ємності якого залежить від відстані між ними і від прискорення руху, випробуваного датчика. Максимальне переміщення, яке визначається ємнісним акселерометром, не 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 зміщенням фаз 180°. Тоді величина прискорення датчика буде пропорційна різниці значень ємностей конденсаторів. Диференціальна структура дозволяє збільшити амплітуду і поліпшити лінійність сигналу, так як залежність ємності від переміщення є нелінійною [1]. На рис. 1 показано поперечний переріз ЄА, в якому інерційна маса (ІМ) розміщена між верхньою нерухомою обкладкою та нижньою. Інерційна маса прикріплена до рухомої обкладки. Верхня нерухома обкладка та нижня відділені від інерційної маси шарами діелектрика, d_1 та d_2 – змінні відстані між обкладками. Всі елементи виготовленні методами мікротехнологій на одній кремнієвій підкладці.

Аналіз досліджень і публікацій. Проведені дослідження показали, що великий внесок у теорію та практику ємнісних перетворювачів пов'язано з іменами Л.Бергмана, Г.Тірстена, А.А. Андрєєва, В.В. Малова, Н.А. Шульги, В.В. Лаврінєнко, С.І. Пугачова, О.П. Крамарова, А.С. Колесникова, П.О. Грибовського та інші.

Наразі існує багато засобів вимірювання прискорення. Вони відрізняються як конструктивними, так і функціональними параметрами. Серед найвідоміших у світі виробників акселерометрів є фірми "Kistler", "Instrumente AG", "Analog Devices", "Brüel & Kjaer", "Genisco", "SFIM", "Endevco", "BAE System" та інші.

Викладення основного матеріалу дослідження. Існує багато методів закріплення ІМ на рухомій обкладці акселерометра. Розглянемо два основні конструктивні види закріплення ІМ: консольна конструкція та мостова.

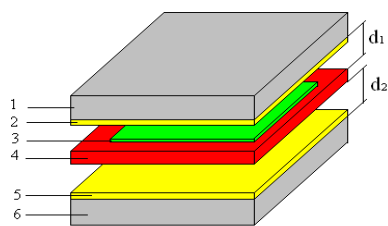


Рис. 1. Ємнісний акселерометр: 1,6 – нерухомі обкладки; 2,5 – діелектрики; 3 – інерційна маса; 4 – рухома обкладка

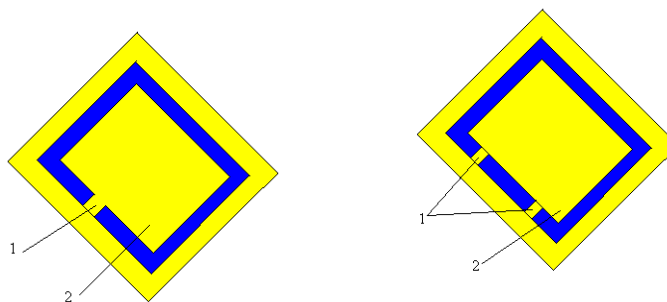


Рис. 2 Консольна конструкція: 1 – балка; 2 – ІМ: а) закріплення ІМ з однією балкою; б) закріплення ІМ з двома балками

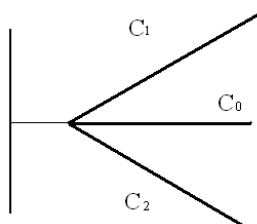


Рис. 4 Зміна ємностей: C_1 – ємність яка утворюється між верхньою обкладкою та масою, C_2 – ємність між нижньою обкладкою та масою.

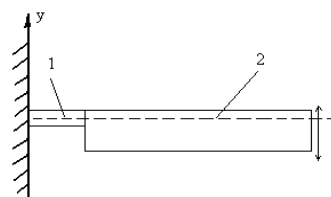


Рис. 3 Поперечний переріз по балці: 1 – балка; 2 – ІМ

На рис. 2,а зображено консольна конструкція закріплення ІМ за допомогою однієї балки. При такій конструкції переміщення маси по осі “у” вгору чи вниз, призведе до обертання її по осі “х”. Це ускладнює вимірювання зміни ємності акселерометра. В подальшому балку було розділено на дві (рис. 2,б). Це призвело до того, що коли ІМ піднімається вгору чи опускається вниз по осі “у” практично немає обертання по осі “х”.

Прискорення по осі “х” призводить до згинання балки та підйому ІМ вгору чи опускання вниз. У момент, коли прискорення не діє: $C_1=C_2=C_0$

Мостова конструкція закріплення ІМ на рухому обкладку.

На рис. 5, а зображено мостова конструкція закріплення ІМ у стані, коли на ІМ не діє прискорення і вона знаходиться в статичному стані, на рис. 5, б зображено переміщення ІМ при дії прискорення. Як видно при дії прискорення, балки які закріплюють ІМ з двох боків рівномірно опускають ІМ або піднімають. Основні характеристики ЄА при різних конструкціях закріплення ІМ наведено в таблиці 1 [3].

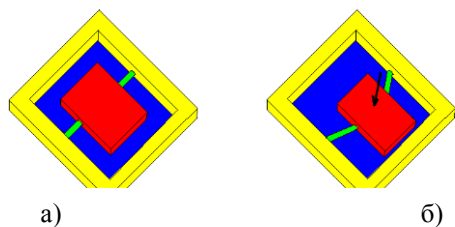


Рис. 5. Мостова конструкція

Таблиця 1

Основні характеристики ЄА

Основні параметри	Консольна Конструкція з 1 балкою	Консольна Конструкція з 2 балками	Мостова конструкція
Частота(min), Гц	933	1310	2310
Протяжність маси, мкм	2440	4000	5300
Чутливість	0,00125	0,00120	0,00158
Нелінійність, %	0,927	0,890	0,934
Діапазон робочої температури	-85 °С - +40 °С	-85 °С - +40 °С	-85 °С - +40 °С

Особливості матеріалів обкладок ЄА. Обкладки ЄА являють собою електроди, які є провідниками певної форми та знаходяться у робочому середовищі. Обкладки ЄА, мають невелику товщину, і в них явище поверхневого ефекту може позначатися тільки при досить високих частотах, порядку 100 МГц.

Матеріал, який використовується для виготовлення обкладок ЄА повинен задовольняти наступні вимоги:

- мати низький електричний опір обкладок, особливо для високочастотних конденсаторів;
- температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), близьким до ТКЛР підкладки і діелектрика;

- гарну адгезію як до підкладки, так і до раніше сформованим плівкам;
- володіти низькою міграційною рухомістю атомів, високою корозійною стійкістю [1-2].

Для обкладок ЄА не слід використовувати матеріали з високою рухливістю атомів, такі, як мідь або золото. Атоми цих металів, проникаючи в діелектрик, можуть утворювати провідні перемички між обкладками. Матеріал обкладки повинен мати гарну адгезію до матеріалу підкладки і до діелектрика. Найбільш повно цим вимогам задовольняє алюміній.

Обкладки виготовляються з алюмінієвої фольги товщиною до 0,01 мм, а ізолюючі прошарки – з найтоншого (від 0,007 до 0,012 мм) високосортного конденсаторного паперу, який просочується рідким діелектриком. Вельми мала товщина і високосортного конденсаторного паперу обумовлює відносно високу її вартість. Обкладки ЄА можна виготовляють також з металевої плівки, нанесеної безпосередньо на пластини, тоді пластини піддаються срібленню. Існують два способи сріблення: випаровування під вакуумом та випалювання.

Для обкладок ЄА не слід використовувати матеріали з високою рухливістю атомів, такі, як мідь або золото. Атоми цих металів, проникаючи в діелектрик, можуть утворювати провідні перемички між обкладками. Матеріал обкладки повинен мати гарну адгезію до матеріалу підкладки і до діелектрика. Найбільш повно цим вимогам задовольняє алюміній.

Обкладки виконуються або у вигляді пластин, або у вигляді куль, щоб рухома обкладка могла пересуватися при дії прискорення.

Види діелектриків ЄА. Діелектрики — це матеріали, в яких заряди не можуть пересуватися з однієї частини тіла в іншу (зв'язані заряди). На практиці абсолютних діелектриків немає.

Діелектрик ЄА повинен володіти високою електричною міцністю і діелектричною проникністю, малими втратами і повинен утворювати тонкі плівки без дефектів (наскрізної пористості і ділянок з підвищеною провідністю), мати гарну адгезію до металів обкладок, бути стійким до температурних впливів, мати мінімальну гігроскопічність. Від усіх цих властивостей діелектрика залежить надійність ЄА. Діелектрична проникність діелектриків є одним із основних параметрів при розробці ЄА. Діелектрична проникність показує, у скільки разів сила взаємодії двох електричних зарядів в середовищі менше, ніж у вакуумі. Відносна діелектрична проникність повітря і більшості інших газів в нормальних умовах близька до одиниці (у силу їх низької щільності). Для більшості твердих або рідких діелектриків відносна діелектрична проникність лежить у діапазоні від 2 до 8. Діелектрична постійна води у статичному полі досить висока – близько 80.

Використання матеріалів з високою діелектричною проникністю дозволяють істотно знизити фізичні розміри ЄА. Діелектрична проникність визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_o},$$

де ε – діелектрична проникність; C_x – ємність тестового конденсатора з певним діелектриком; C_o – ємність того ж конденсатора у вакуумі.

Діелектрична стала деяких матеріалів наведено в таблиці 2 [3].

Таблиця 2

Діелектрична стала деяких матеріалів при кімнатній температурі

Матеріал	Діелектрична стала	Матеріал	Діелектрична стала
Вакуум	1 (за визначенням)	Фарфор	4.7
Повітря	1.0005	Скло	4.7
Гас	2.1	Резина	7
Папір	3	Барій	500
Кварц плавлений	3.75	Титанат Барію	1200

Висновки. Розглянуто будову ємнісного акселерометра та описано способи закріплення його ІМ. Визначено їх переваги та недоліки. Вказано на особливості матеріалів для виготовлення обкладок ЄА. Наведені види діелектриків, які використовуються у конструкціях ЄА.

Література:

1. Безвесільна О. М. Перетворювальні пристрої приладів / О. М. Безвесільна, П. М. Таланчук – К.: ІСДО, 1994. – 448
2. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2010. – 592с.
3. Таблицы основных свойств пьезокерамических материалов ПКР, изготавливаемые Отделением сегнетоэлектрических материалов, приборов и устройств НИИ физики ЮФУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.piezotech.ru/PKR.htm>.