

О.М. Безвесільна, д.т.н, проф.
Національний технічний університет України "КПІ"
А.О. Просюк, магістрант, факультет ІКТ, гр.АТ-18м
Житомирський державний технологічний університет

ДВОКАНАЛЬНИЙ МЕМС ГРАВИМЕТР

Вимірювання абсолютного значення прискорення сили тяжіння (ПСТ) з високою точністю необхідне для успішного розв'язання широкого спектру наукових задач: визначення форми Землі, побудови моделей руху глибинних мас, оцінки пружних деформацій поверхні планети, передбачення землетрусів, пошуку покладів корисних копалин та інше. Для вирішення цих важливих наукових задач призначені гравіметричні системи, чутливим елементом яких є гравіметр.

Вимірювання ПСТ за допомогою існуючих сьогодні гравіметрів проводили, в основному, маятниковим способом. Даний спосіб вимірювання полягає у вивченні залежності періоду коливань математичного маятника від величини поля сили тяжіння. Абсолютні маятникові вимірювання досить трудомісткі. Одне вимірювання може проводитися протягом доби. На результати маятникових спостережень істотно впливають похибки вимірювання довжини маятника і часу.

Сьогодні найперспективнішими є п'єзоелектричні, гіроскопічні, струнні та смісні гравіметри. Використання саме смісних гравіметрів (ЄГ) у якості чутливих елементів гравіметричних систем дає значні переваги у порівнянні з існуючими типами гравіметрів: вищі точність (1 мГал) та швидкодія.

Розвиток науки і техніки ніколи не стоїть на місці. Сьогодні одними із найперспективніших є мікроелектромеханічні системи та технології (МЕМС), що поєднують у собі мікроелектронні і мікромеханічні компоненти. МЕМС-пристрої виготовляють на кремнієвій підкладці за допомогою технології мікрообробки, аналогічно технології виготовлення однокристальних інтегральних мікросхем.

Одноканальний МЕМС-гравіметр (рис. 1) складається з двох пластин між якими знаходиться діелектрик та інерційної маси (ІМ). При дії прискорення вздовж вертикальної осі виникає інерційна сила, що діє на масу. Під дією цієї сили пластини стискаються. Виникає пропорційний електричний заряд, який через провідник знімається. Величина зарядів буде пропорційна до величини прискорення, що далі реєструється.

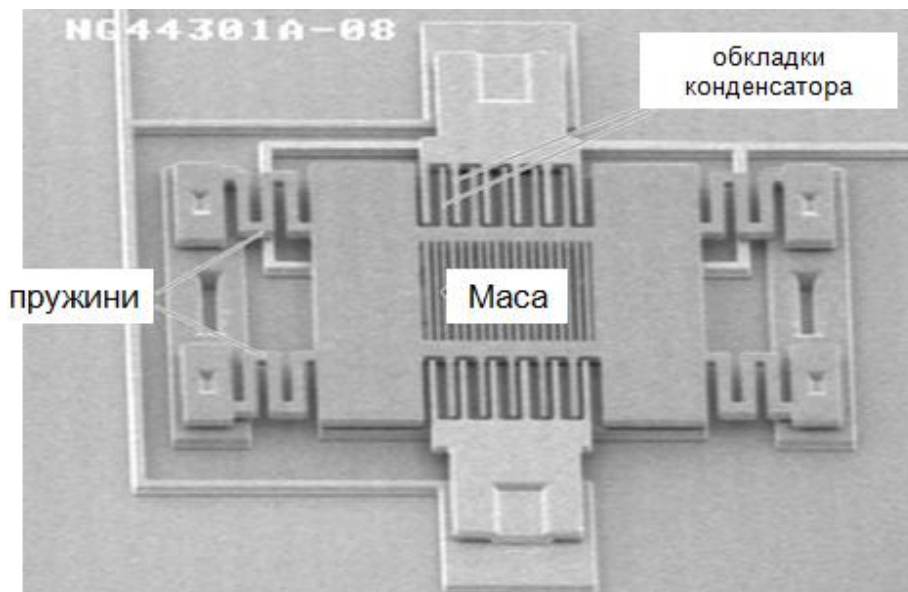


Рис. 1. Зовнішній вигляд МЕМС гравіметра

Обкладки ЄГ 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 ЄГ, 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.

Для обкладок ЄГ 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.

Конструкція одноканального МЕМС-гравіметра не передбачає компенсацію інструментальних похибок від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища, які є значними в екстремальних умовах, якими характеризуються вимірювання за допомогою одноканального МЕМС-гравіметра.

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

$$C_i = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_n \varepsilon_d S_i S}{d_i S \varepsilon_n + \varepsilon_d S_i (b - d_i)},$$

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; $\varepsilon_n, \varepsilon_d$ – діелектрична проникність повітря та діелектрика відповідно.

Таким чином, суттєвим недоліком одноканального МЕМС-гравіметра є низька точність вимірювань гравітаційного прискорення.

В основу двоканального МЕМС-гравіметра поставлено задачу вдосконалення одноканального МЕМС-гравіметра, що містить пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра та чутливий елемент, що містить пластини, шляхом того, що чутливий елемент виконано з двома каналами, в кожному з яких встановлено по одному елементу, що є ідентичними і виконані у вигляді пластин та інерційної маси, що закріплені одне на одному, причому елемент одного каналу розташовано пластинами вниз, а елемент іншого каналу розташовано пластинами вгору, причому виходи пластин обох каналів з'єднані з входами суматора, вихід якого з'єднаний із входом пристрою обчислення вихідного сигналу гравіметра, щоб забезпечити підвищення точності вимірювань гравітаційного прискорення.

Підвищення точності вимірювання у двоканальному МЕМС-гравіметрі забезпечується за рахунок того, що створено другий канал вимірювання. Для цього чутливий елемент виконано з двома каналами. Елемент одного каналу, що встановлений інерційною масою на пластинах, працює на стиснення. Ідентичний йому елемент іншого каналу, що встановлений інерційною масою під пластинами, працює на розтяг. Вихідні електричні сигнали пластин обох каналів сумуються у суматорі. Результуючий корисний електричний сигнал буде пропорційним подвоєному сигналу гравітаційного прискорення. Отже, завдяки використанню додатково введеного другого каналу вимірювання, забезпечується відсутність у вихідному сигналі двоканального МЕМС-гравіметра сигналів похибок від впливу вертикального прискорення, від залишкової неідентичності конструкцій однакових пластин та мас, від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища (тобто інструментальних похибок), які можуть бути значними.

Оскільки гравіметричні вимірювання за допомогою АГС з МЕМС гравіметром проводяться на літаку, тому необхідно постійно забезпечувати положення вимірювальної осі ЄГ у вертикальному положенні. Для реалізації цього процесу запропоновано побудувати систему стабілізації АГС. Для цього ЄГ встановлюється на горизонтальній стабілізованій платформі (ГСП), яка має у своєму складі два лінійні акселерометри та виконавчі механізми у вигляді спеціальних двигунів.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп’ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету (10005, м. Житомир, вул. Черняхівського, 103).

Наукові інтереси: гравіметричні системи та гравіметри, інформаційно-комп’ютерні технології, гіроскопи, стабілізатори.

ПРОСЮК Анастасія Олександрівна – магістрант групи АТ-18м кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп’ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету. Наукові інтереси: сучасні системи автоматизації, гравіметри та гравіметричні системи.