

Огляд сучасного стану мікроелектромеханічних датчиків кутової швидкості та тенденції їх розвитку

У статті виконано критичний огляд стану розробки мікроелектромеханічних датчиків кутової швидкості. Подано тенденції розвитку сучасних мікроелектромеханічних датчиків кутової швидкості

Розробка мікроелектромеханічних датчиків є одним із основних напрямків сучасного приладобудування. Такі датчики мають широку сферу застосування, наприклад, автомобільний транспорт, стабілізацію платформ із встановленими на них вимірювальними пристроями, системи керування рухомими об'єктами різного класу, вимірювальні блоки для інерційної навігації.

Огляд стану виробництва мікроелектромеханічних датчиків кутової швидкості. До основних мікроелектромеханічних вимірювачів, що розробляються за кремнієвою технологією, належать такі інерційні вимірювачі як гіроскопічні датчики кутової швидкості та акселерометри. У сучасній технічній документації гіроскопічні датчики кутовий виробники зазвичай називають гіроскопами, тому надалі використовуватиметься ця назва.

Залежно від характеристик мікроелектромеханічних гіроскопи поділяються на три категорії: інерційні, тактичні та швидкісні [1], характеристики яких представлені у табл. 1. Протягом останніх 10 років найбільші зусилля розробників були зосереджені на розвитку останньої групи, в основному внаслідок їх застосування в автомобільній промисловості.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз характеристик гіроскопів різних категорій

Параметр	Швидкісні гіроскопи	Тактичні гіроскопи	Інерційні гіроскопи
Випадкова похибка по куту, $\%/\sqrt{s}$	>0,5	0,5-0,05	<0,001
Дрейф відходу $\%/\ddot{\alpha}$	10-1000	0,1-10	<0,01
Точність масштабного коефіцієнта, %	0,1-1	0,01-0,1	<0,001
Повний діапазон, $\%/\text{с}$	50-1000	>500	>400
Максимальний удар, g	103	103-104	103
Смуга пропускання, Гц	>70	100	100

За особливостями конструктивного виконання вібраційні гіроскопи поділяються [2] на: датчики обертання Z осі (вертикальної осі) і X/Y осях (осях в горизонтальній площині); датчики з використанням вібраційної маси та вібраційного кільця; датчики для вимірювання лінійної та обертальної вібрації; датчики з використанням одно-або двомасового камертону. Технології виготов-

лення таких датчиків поділяються на монолітно-кремнієві, полікремнієві та змішані типи. Механізми приведення в дію поділяються на електростатичні, електричні, п'єзоелектричні. Коріолісові датчики поділяються на електростатичні, електромагнітні та п'єзоелектричні.

Нижче наводяться характеристики гіроскопів, вироблених чотирма основними виробниками світового рівня, яких припадає на виробництво понад 95% виробництва датчиків цього класу.

Компанія Robert Bosch є лідером у проектуванні та виготовленні кремнієвих вібраційних гіроскопів. Ця компанія охоплює понад 50% автомобільного ринку та супутніх додатків. Вона розробляє як Z, так і X/Y датчики кутової швидкості [3].

Компанія BEI Systron Donner є основним виробником датчиків автомобільного транспорту. Гіроскопи виробництва цієї компанії ґрунтуються на використанні цільного кварцового інерційного датчика. Ці мікромеханічні інерційні датчики призначені для вимірювання кутової швидкості, вони засновані на використанні вібраційних камертонів та п'єзоелектричних принципах приведення в дію та перетворення інформації [4].

Компанія Analog Devices працює у галузі мікроелектромеханічних гіроскопів багато років і має патенти на багато концепцій модифікованих камертонів [5]. Компанія впровадила серію інтегрованих датчиків кутової швидкості ADXRS, в яких маса прив'язана до полікремнієвої рамки, що дозволяє їй резонувати лише в одному напрямку. Ємнісні кремнієві чутливі елементи, прикріплені до підкладки плати, вимірюють зсув резонуючої маси внаслідок прискорення Коріолісового.

Компанія Silicon Sensing Systems [6] розробляє мікроелектромеханічні гіроскопи з електромагнітним принципом приведення в дію та знімання інформації, які доповнюються постійним магнітом, розташованим над датчиком. Струм, що проходить через роз'єми, створює силу, яка змушує резонувати кільце. Коріолісово рух кільця вловлюється індукованою напругою, оскільки магнітне поле відскакається роз'ємами.

Характеристики датчиків розробки перерахованих вище компаній представлені у табл. 2 [1].

Таблиця 2

Порівняльний аналіз особливостей основних компаній-виробників

Компанія	Ось	МЕМС технологія	Управління рухом	Знімання інформації	Тип корпусу	Тип ізоляції
Bosch	Z	наповнення	електромагнітне	ємнісне	металевий	атмосферний
Bosch	X/Y	полікремнієва	електростатичний	ємнісне	металевий	вакуумний
BEI	Z	кварцова	п'єзоелектричне	п'єзоелектричне	металевий	атмосферний

Silicon Sensing	Z	наповнення	електромагнітне	електромагнітне	металевий	вакуумний
ADI	Z	полікремнієва	електростатичний	ємнісне	керамічний	атмосферний

Тенденції розвитку мікроелектромеханічних датчиків кутової швидкості. Сучасний етап розвитку мікроелектромеханічних датчиків характеризують такі основні напрями: створення багатовісних вимірювальних блоків, комбінування з акселерометрами, наявність цифрового інтерфейсу, використання вбудованих засобів тестування, калібрування, використання вбудованих температурних датчиків.

Поява двовісних датчиків кутових швидкостей позитивно впливає на габарити інерційних вимірювальних блоків, створюваних з їхньої основи. Як правило, такі датчики включають сервісну електроніку, що надає їм функціональної закінченості та покращує експлуатаційні характеристики.

Зараз набувають популярності датчики, які виконують функції вимірювання як кутової швидкості, так і прискорення. Багато джерел вони називаються гіро-акселерометрами. Такі датчики мають підвищену інформативність, а крім того, дозволяють покращити точнісні характеристики гіроскопа за рахунок корекції від сигналу акселерометра, яка здійснюється всередині датчика. Для реалізації корекції вихідний сигнал гіроскопа інтегрується та порівнюється з вихідним сигналом акселерометра. Отриманий сигнал похибки пропускається через фільтр з великою постійним часом і використовується для охоплення гіроскопа зворотним зв'язком. Фільтр дозволяє мінімізувати короточасні похибки акселерометра. Крім того, отриманий сигнал помилки використовується для демпфування гіроскопа. Такі датчики особливо ефективні при використанні в системах, призначених для експлуатації рухомих об'єктів.

Висновки. Проаналізовано стан розробки сучасних мікроелектромеханічних вимірників кутової швидкості. Охарактеризовано основні особливості їхнього принципу дії, конструкції та виготовлення. Визначено датчики, придатні для експлуатації в системах керування рухомими об'єктами та стабілізації вимірювальних пристроїв. Подано основні тенденції розвитку датчиків досліджуваного типу.

Список літератури

1. S. Nasiri. A Critical Review of MEMS Gyroscopes Technology and Commercialization Status. <http://www.invensense.com>
2. N. Yazdi, F. Ayazi, і K. Najafi. Aug. 1998. "Micromachined Inertial Sensors," Proc IEEE, Vol. 86, No. 8.
3. Robert Bosh – [Електронний ресурс]:
4. Emcore – [Електронний ресурс]: <http://www.systron.com>
5. Analog devices – [Електронний ресурс]: <http://www.analog.com>
6. Silicon Sensing Systems – [Електронний ресурс]: <https://www.siliconsensing.com/home>