

УДК 629.113

Л.В.Крайник, М.В.Бур'ян, О.Л.Коляса

ВАТ "Укравтобуспром"

Національний університет "Львівська політехніка"

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТИПІВ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ ДЛЯ ОЦІНКИ РЕАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА НА БАЗІ ДОРОЖНІХ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЯ

Розглядаються методика контрольної оцінки реальних характеристик двигуна на базі експериментального визначення динаміки розгону автомобіля та розрахунково – аналітичного зіставлення з еталонною характеристикою двигуна заводу виробника. Проведено огляд і аналіз необхідних характеристик акселерометрів.

Вступ

Класично визначені стендові характеристики двигуна типороздільного ряду в реальній експлуатації здебільшого не співпадають з реальними на автомобілі. Як наслідок приробленого зносу в процесі експлуатації. Відмінностей в відборі потужності допоміжних агрегатів в конкретній моделі/модифікації автомобіля, а також внаслідок наявних збоїв або неполадок чи конкретних особливостей систем двигуна при забудові у певну конструкцію автомобіля чи автобуса.

Постановка проблеми

В реальній практиці автомобілебудування та у процесі експлуатації характерні досить виразні відмінності реальних тягових та паливно-економічних характеристик двигунів (як продукту масового виробництва з відповідними допусками і індивідуальними відхиленнями характеристик) з еталонними що зняті на випробувальних стендах заводів-виробників за однією з 4 найбільш розповсюджених методик (DIN, SAE, ГОСТ-ДСТУ, JSME), що теж відчутно відрізняються як за умовами комплектності і ідентичності навісного обладнання, так і умовами роботи систем двигуна (температура, вологість повітря, в тому числі при різних варіантах забудови двигуна у конкретну модель автобуса завжди відрізняються від стендових умов в закритому приміщенні).

Окрім цього визначення реальних тягових характеристик конкретного двигуна завжди представляє практичний інтерес і для діагностики технічного стану та оцінки ефективності роботи всіх систем в процесі експлуатації чи під час проведення так званого ЧП-тюнінгу, що набуває все більшого розповсюдження. Класичний підхід з демонтажем двигуна і його випробуванням на стенді є вельми трудомістким, затратним і знову ж таки, в силу вищевикладених причин не гарантує адекватності реальним характеристикам при забудові в конкретну модель/модифікацію автомобіля.

Таким чином практичний інтерес представляє розробка експериментально-аналітичної оцінки реальної характеристики двигуна шляхом розв'язування фактично зворотної задачі тягового розрахунку автомобіля – на підставі експериментально визначених методом дорожніх випробувань характеристик динаміки розгону автомобіля при відомих його конструктивних параметрах, що практично є відомими та стабільними (передатні числа трансмісії, аеродинаміка кузова і т.д.) – визначення реальних тягових характеристик двигуна з характерною для даного автомобіля забудовою та приводом допоміжних агрегатів. Визначальним інформаційним параметром для відповідного аналітичного розрахунку реальної тягової характеристики двигуна є пришвидшення (прискорення) автомобіля (в функції одночасно фіксованих значень положення органу управління паливоподачею та частоти обертання колінчатого валу двигуна), що і є предметом даної частини роботи.

Основна частина

Основними параметрами акселерометра є:

- Чутливість – мінімальне відхилення пришвидшення яке акселерометр здатен виміряти
- Зміщення нуля – показ акселерометра при нульовому пришвидшенні
- Випадкове блукання – середньоквадратичне відхилення від зміщення нуля
- Нелінійність – зміна залежності між вихідним сигналом і вдаваним пришвидшенням при зміні вдаваного пришвидшення

За будовою і фізичною суттю акселерометри можуть бути:

- Електромеханічні (так звані ball in tube)
- п'єзоелектричні
- п'єзорезистивні
- ємнісні

Оскільки акселерометр міряє прискорення, або силу, що викликає пришвидшення інерційної маси то фізична модель його являє собою масу, підвішену на пружині і закріплену в нерухомому корпусі – просту систему з одною ступінню свободи вздовж вимірювальної осі.

Інерційна маса отримує пришвидшення під дією сили пришвидшення, пропорційній масі m і пришвидженню a :

$$F=ma, \quad (1)$$

Сила пружності пружини урівноважує переміщення маси відносно корпусу:

$$F=kx, \quad (2)$$

де k – жорсткість пружини, x – зміщення маси m відносно початкової точки

З «1» і «2» випливає що:

$$a=x(k/m), \quad (3)$$

де k/m – конструктивний параметр давача

Відповідно з цією моделлю в основі класифікації акселерометрів лежить спосіб отримання електричного сигналу при переміщенні інерційної маси.

Електромеханічні давачі типу ball in tube відіграли важливу роль при проектуванні подушок безпеки в автомобілях. Вони собою являли давачі лінійного пришвидшення з металевою кулькою в ролі інерційної маси, що переміщається в трубі [7-10].

Суть електромеханічних давачів полягає у тому що при пришвидженні кулька долає силу пружини чи магнітного поля і як результат цього переміщення - замикаються контакти.

Для демпфування руху кульки в трубці зазвичай закачаний газ або рідина

Типовим недоліком такого роду давачів є нестабільність роботи в результаті забруднення, корозії, а також зміни електромагнітних властивостей матеріалу в процесі експлуатації.

Іншими недоліками акселерометрів такого типу є велика маса, низька технологічність і відповідно висока ціна.

Для вищевикладеної задачі практичний інтерес представлений порівняльний аналіз і вибір конкретного типу давача серед 3 планів:

- п'єзоелектричні
- п'єзорезистивні
- ємнісні

Принцип дії п'єзоелектричних акселерометрів заснований на використанні прямого п'єзоелекту. В п'єзоелектричному акселерометрі маса m прикладає силу $F=ma$ до кристалу п'єзоелементу, викликаючи його деформацію, яка забезпечує достатній динамічний сигнал. Поверхневий зарядний сигнал прямо пропорційний силі F , знімається з електродів і відповідним чином підсилюється.

В П'єзорезистивних акселерометрах (рис. 1.) для вимірювання пришвидшення використовуються гнучкі дифузійні кремнієві резистори, приєднані до однієї чи кількох кремнієвих консольних балок, що підтримують інерційну масу. Прискорення маси згинає балку і відповідно змінює опір резисторів створюючи розбалансування моста Уїтсона, в схему якого як правило включені вимірювачі напруги (на рис.1). Відповідно цим забезпечується реакція на статичне пришвидшення.

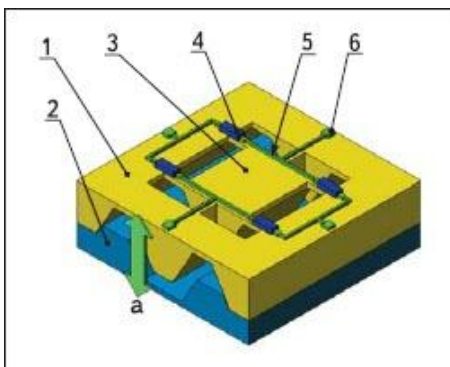
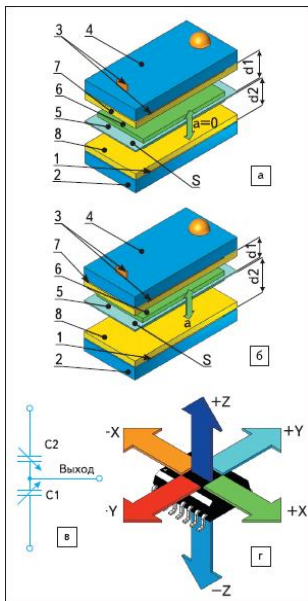


Рис. 1. Типова п'єзорезистивна мікромеханічна структура [4]:

- 1— кремнієва структура з консольними балками, які підтримують інерційну масу;
- 2— підтримуюча основа;
- 3— інерційна маса
- 4— згинні кремнієві резистори (strain gages);
- 5— електричне з'єднання резисторів (схематичне зображення моста Уїтсона);
- 6— термінали MEMS— структури (виходи моста)

Принцип дії ємнісного акселерометра (variable capacitance) заснований на зміні ємності чутливого елемента з електродами при переміщенні інерційної маси, що є його частиною, під дією прискорення.

Більшість MEMS-акселерометрів використовує принцип, в якому прискорення змінює відстань d між обкладками і, таким чином, ємність конденсатора. Давач перетворює зміну ємності акселерометра у вихідний сигнал - електричний заряд, напругу або струм.



Типовий ємнісний сенсорний елемент складається з двох фіксованих електродів - між ними підвішена рухлива обкладка, навантажена інерційною масою, яка являє собою загальний електрод ємнісного напівміст (Рис. 2. а-в).

Рис. 2. Ілюстрація вимірювального принципу диференційного ємнісного акселерометра [6]: а, б - фізична модель вимірювальної структури (корпус перетворювача умовно не показаний): 1, 3 - нерухомі металеві обкладки, 2, 4 - зафіксовані друковані плати, 5 - рухома обкладка; 6 - інерційна маса (метал або діелектрик); 7, 8 - шари діелектрика; S - фіксована площа перекриття обкладок; d_1 , d_2 - змінні відстані між обкладками; а - акселерометр в стані спокою; б - під дією прискорення а; в - еквівалентна електрична схема; г - розміщення вимірювальних осей і ступенів свободи (піввісь) щодо корпусу ІС в корпусі SOIC

Багато переваг та недоліків ємнісних давачів випливають з їх фізичної природи.

Так, ємнісні структури прості в конструюванні - залежно від розміщення ємнісного чутливого елемента щодо ІВ або друкованої плати, вони дозволяють детектувати прискорення в напрямку кожної з шести ступенів свободи (рис. 2г). З розвитком технологій MEMS дану перевагу доповнилося можливістю детектувати три вимірювальні осі за допомогою лише однієї ІВ [1-6].

Значна перевага ємнісних акселерометрів - температурний дрейф конденсаторів невеликої ємності і, отже, схема температурної компенсації мінімальна. Ємнісні давачі забезпечують широкий робочий температурний діапазон, але важливо підкреслити, що відносно нечутливі до температурних варіацій ємнісні акселерометри з газовим демпфуванням, оскільки частотна смуга ємнісного акселерометра також температурно чутлива (в'язкість демпфируючої рідини є функцією температури).

Ємнісні MEMS-акселерометри вимірюють прискорення в діапазоні від $<2 \text{ g} / \text{с}$ (аж до статичного) до кількох сотень $\text{g} / \text{с}$, на частотах, як правило, до 1 кГц.

Ємнісні техніки зчитування дозволяють легко електрично ізолювати структурні компоненти акселерометра, але отримана структура давача 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.

Крім нелінійності, ємнісні акселерометри відрізняє чутливість до забруднень і вологості і присутності поблизу обкладок різних матеріалів, які змінюють властивості діелектричного матеріалу і ємнісний зв'язок, тому в автоелектроніці акселерометри припускають саме спеціалізований дизайн і надійну інкапсуляцію.

Висновок

Підводячи підсумки порівняльного аналізу, можна зробити висновок, що пристрої, створені на основі розглянутих робочих принципів, являють собою точні й надійні вироби, що забезпечують у жорстких умовах експлуатації високі робочі характеристики. Одночасно в останні роки найбільш ефективні вирішення пропонують Мемс-Акселерометри, багато з яких являються ємнісними давачами, виконаними на базі технологій поверхневої мікромеханіки. Огляд стану ринку перспективної елементної бази в автоелектроніці Мемс-Давачів стає логічним завершенням вибору необхідної елементної бази.

Побічним результатом проведеного огляду та аналізу давачів прискорення є також перспектива використання триосьових ємнісних акселерометрів, що дозволяють вимірювати пришвидшення одночасно до трьох осей руху автомобіля (поздовжній, поперечній, вертикальний) для дорожніх випробувань при оцінці плавності та стійкості (керуваності).

1. Acceleration sensor and method for manufacturing an acceleration sensor. United States Patent 6,883,381. Опубл. 26.04.2005 (Infineon Technologies AG).
2. Accelerometer with strain isolated sensor. United States Patent 5,343,748. Опубл. 6.09.1994 (Texas Instruments Inc.).
3. Integrated micromechanical sensor device. United States Patent 5,744,719. Опубл. 28.04.1998 (Siemens Aktiengesellschaft).
4. Piezoresistive force rebalance accelerometer. United States Patent 5,596,144. Опубл. 21.01.1997 (Delco Electronics Corporation).
5. Self-testable micro-accelerometer and method. United States Patent 5,445,006. Опубл. 29. 08. 1995 (IC Sensors, Inc.).
6. An Overview of MEMS Inertial Sensing Technology. Bernstein J., Corning-IntelliSense Corp. Sensors Magazine, Feb 2003.
7. Gas damped vehicular crash sensor with gas being dominant biasing force on sensor. United States Patent 3,974,350. Опубл. 10.08.1976 (Breed Corporation).
8. Velocity change sensor and recorder. United States Patent 4,198,864. Опубл. 22.04.1980 (Breed Corporation).
9. Velocity change sensor. United States Patent 4,284,863. Опубл. 18.08.1981. (Breed Corporation).
10. Magnetically biased velocity change sensor. United States Patent 4,329,549. Опубл. 11.05.1982 (Breed Corporation).